



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

**POTENCIONÁLNÍ PRODUKCE ELEKTRICKÉ ENERGIE ZE
STŘEŠNÍCH FOTOVOLTAICKÝCH ELEKTRÁREN V OBCI
DO 3000 OBYVATEL**

POTENTIAL PRODUCTION OF ELECTRIC ENERGY BY PHOTOVOLTAIC POWER STATIONS ON THE ROOF
INSTALLATION IN MUNICIPALITY UP TO 3000 RESIDENTS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Martin Štefek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Martin Paar, Ph.D.

BRNO 2019

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

Student: Martin Štefek

ID: 191633

Ročník: 3

Akademický rok: 2018/19

NÁZEV TÉMATU:

Potencionální produkce elektrické energie ze střešních fotovoltaických elektráren v obci do 3000 obyvatel

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Přehled střešních fotovoltaických systémů
2. Výpočet množství energie z různých stabilních FV systémů
3. Vytvoření metodiky výpočtu energie z vybrané oblasti
4. Vyhodnocení potencionální produkce elektrické energie zvolené obce do 3 000 obyvatel ze střešních FV panelů

DOPORUČENÁ LITERATURA:

IEEE, veřejné mapové podklady

Termín zadání: 4.2.2019

Termín odevzdání: 27.5.2019

Vedoucí práce: Ing. Martin Paar, Ph.D.

Konzultant:

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Bibliografická citace práce:

ŠTEFEK, Martin. *Potencionální produkce elektrické energie ze střešních fotovoltaických elektráren v obci do 3000 obyvatel*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2019. 74 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Martin Paar, Ph.D.

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma *Potencionální produkce elektrické energie ze střešních fotovoltaických elektráren v obci do 3000 obyvatel* jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.“

V Brně dne: 27. 5. 2019

.....

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce Ing. Martinu Paarovi Ph.D. za metodické vedení a věcné připomínky při zpracování práce.

V Brně dne Podpis autora

ABSTRAKT

Cílem bakalářské práce je stanovit odhad maximálního technického potenciálu střešních fotovoltaických elektráren v obci do 3 000 obyvatel. V rámci práce je navržen vlastní postup umožňující rychlé stanovení technického maxima instalace jednotlivých domů vycházející z normy ČSN EN 15316-4-3. Navržená metodika je aplikována na obec Moravany u Brna. Pro odhad celkového fotovoltaického potenciálu obce jsou pro srovnání uplatněny i další metodiky odhadující technický potenciál s využitím pouze statistických dat. Poslední část práce se zabývá odhadovaným zatížením sítě způsobeným velkým množstvím malých střešních fotovoltaických instalací.

KLÍČOVÁ SLOVA: fotovoltaický panel, fotovoltaické tašky, střešní fotovoltaika, Project Sunroof, fotovoltaický potenciál

ABSTRACT

The aim of this bachelor thesis is to determine the maximum technical potential of photovoltaic roof power stations of the municipality with up to 3,000 inhabitants. The thesis proposes its own procedure enabling a quick determination of the maximum size of the installation for each house based on the ČSN EN 15316-4-3 standard. The proposed methodology is applied on the municipality Moravany u Brna. For overall estimation of the photovoltaic potential of the municipality, other methodologies using only statistical data are applied and compared with proposed methodology. Last section of the thesis deals with the estimation of the load caused by a large number of small photovoltaic roof installations.

KEY WORDS: photovoltaic panel, photovoltaic tiles, photovoltaic roof, Project Sunroof, photovoltaic potential

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	8
SEZNAM TABULEK	10
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	11
1 ÚVOD	13
2 ÚVOD DO FOTOVOLTAIKY	14
2.1 TECHNOLOGIE FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ.....	15
2.1.1 MONOKRYSTALICKÉ KŘEMÍKOVÉ ČLÁNKY	15
2.1.2 POLYKRYSTALICKÉ KŘEMÍKOVÉ ČLÁNKY	16
2.1.3 AMORFNÍ KŘEMÍKOVÉ ČLÁNKY	17
2.2 STRUKTURA FOTOVOLTAICKÉHO PANELU.....	17
2.3 FOTOVOLTAICKÉ TAŠKY	18
3 VLIV NA VÝKON FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ	19
3.1 GEOGRAFICKÉ PODMÍNKY	19
3.1.1 GEOGRAFICKÉ PODMÍNKY ČESKÉ REPUBLIKY	20
3.2 MÍSTNÍ VLIVY	21
3.2.1 INTENZITA SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ	21
3.2.2 ČISTOTA OVZDUŠÍ.....	22
3.2.3 ORIENTACE PANELU VŮČI SLUNCI	23
3.2.4 TEPLOTA	23
3.2.5 ZASTÍNĚNÍ.....	25
3.3 POŽADAVKY NA DŮM	25
3.4 UMÍSTĚNÍ FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ NA DOMECH	26
3.5 TRACKINGOVÉ SYSTÉMY.....	27
3.6 PROJECT SUNROOF	29
4 ZHODNOCENÍ STŘEŠNÍCH FV SYSTÉMŮ	30
4.1 POTENCIÁLNÍ PRODUKCE STŘEŠNÍCH FVE V ČR.....	30
4.2 SOUČASNÁ SITUACE V ČESKÉ REPUBLICE.....	31
4.3 PORUCHY FV SYSTÉMŮ	32
5 VÝPOČET PRODUKCE STATICKÝCH FV SYSTÉMŮ	33
5.1 POSTUP PODLE NORMY ČSN EN 15316-4-3	33
5.2 ZJEDNODUŠENÁ BILANČNÍ METODA	34
6 ENERGETICKÝ POTENCIÁL STŘEŠNÍCH FVE	36
6.1 VÝBĚR OBCE.....	36
6.2 SOUČASNÝ STAV STŘEŠNÍCH FVE V OBCI.....	37
6.3 VYBRANÝ FOTOVOLTAICKÝ PANEL	38
6.4 VYBRANÉ FOTOVOLTAICKÉ TAŠKY	38

6.5 METODIKA VÝPOČTU	39
6.6 APLIKACE METODIKY NA STŘECHY OSAZENÉ FOTOVOLTAICKÝMI PANELY.....	40
6.6.1 BUDOVY S ROVNOU STŘECHOU	40
6.6.2 BUDOVY SE SEDLOVOU STŘECHOU.....	41
6.6.3 BUDOVY SE SEDLOVOU VALBOVOU STŘECHOU.....	43
6.6.4 ATYPICKÉ BUDOVY	44
6.7 OVĚŘENÍ METODY.....	45
6.7.1 POROVNÁNÍ S PROJECT SUNROOF	45
6.7.2 DALŠÍ FV KALKULAČKY	46
6.7.3 POROVNÁNÍ S MĚŘENÝM DOMEM 1	47
6.7.4 POROVNÁNÍ S MĚŘENÝM DOMEM 2	48
6.8 PLOŠNÁ APLIKACE METODY.....	49
6.9 CHARAKTER OBCE	53
6.10 ENERGETICKÝ ZISK STŘEŠNÍCH FVE OBCE.....	56
6.10.1 PŘEHLED STATISTICKÝCH DAT	60
6.11 PŘEDPOKLÁDANÝ DOPAD NA ELEKTRICKOU SÍŤ	61
6.12 VÝPOČET TECHNICKÉHO POTENCIÁLU OBCE JINÝMI METODIKAMI.....	67
6.12.1 VÝPOČET DLE METODIKY ENACO.....	67
6.12.2 METODIKA POUŽITÁ V OPONENTSKÉM POSUDKU NKEP	68
7 ZÁVĚR.....	69
POUŽITÁ LITERATURA	71

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 2-1 Vývoj ceny fotovoltaických článků [9]</i>	14
<i>Obr. 2-2 Monokrystalický článek [24]</i>	15
<i>Obr. 2-3 Polykrystalický článek [24]</i>	16
<i>Obr. 2-4 Amorfni fotovoltaický panel [39]</i>	17
<i>Obr. 2-5 Struktura fotovoltaického panelu [13]</i>	18
<i>Obr. 3-1 Spektrum slunečního záření [46]</i>	19
<i>Obr. 3-2 Potenciál výroby el. energie z FVE ve světě [36]</i>	20
<i>Obr. 3-3 Potenciál výroby el. energie z FVE v ČR [38]</i>	21
<i>Obr. 3-4 Výkonové charakteristiky FV článku pro různé intenzity slunečního záření [29]</i>	22
<i>Obr. 3-5 VA charakteristiky FV článku pro různé intenzity slunečního záření [29]</i>	22
<i>Obr. 3-6 Znečištění fotovoltaických panelů [40]</i>	23
<i>Obr. 3-7 Účinnost FV panelu v závislosti na jeho sklonu a orientaci [26]</i>	23
<i>Obr. 3-8 Volt-ampérová charakteristika FV článku v závislosti na teplotě [29]</i>	24
<i>Obr. 3-9 Vliv teploty na výkon FV článku [29]</i>	24
<i>Obr. 3-10 Simulace lokálního stínění na sedlové střeše [5]</i>	25
<i>Obr. 3-11 Umístění solárních panelů na sedlové střeše [18]</i>	26
<i>Obr. 3-12 Umístění fotovoltaických panelů na rovné střeše [18]</i>	27
<i>Obr. 3-13 Idealizovaná závislost okamžitého výkonu FV panelů odlišných konstrukcí [51]</i>	28
<i>Obr. 3-14 Příklad rozhraní Google Project Sunroof [31]</i>	29
<i>Obr. 4-1 Vývoj výkupních cen pro malé FVE. V ČR a Německu [30]</i>	30
<i>Obr. 4-2 Horká místa na FV panelu [45]</i>	32
<i>Obr. 6-1 Obec Moravany u Brna [22]</i>	36
<i>Obr. 6-2 Příklady střšní FV instalace v obci [22]</i>	37
<i>Obr. 6-3 FV panel AUO PM060W4/PM060B4 [2]</i>	38
<i>Obr. 6-4 FV taška Soleccosolar [42]</i>	39
<i>Obr. 6-5 Vzorový dům s rovnou střechou [15], [50]</i>	41
<i>Obr. 6-6 Vzorový dům se sedlovou střechou [22], [50]</i>	42
<i>Obr. 6-7 Vzorový dům se sedlovou valbovou střechou [15], [50]</i>	43
<i>Obr. 6-8 Atyp. dům s rovnou střechou [22]</i>	44
<i>Obr. 6-9 Atyp. dům se sedlovou střechou [22]</i>	44
<i>Obr. 6-10 Zástavba se zastavěnými dvory [22]</i>	44
<i>Obr. 6-11 Porovnání využitelné plochy s Project Sunroof [32], [15]</i>	46

<i>Obr. 6-12 FV kalkulačka e.on [10]</i>	46
<i>Obr. 6-13 Porovnání odhadů a skutečné roční výroby FVE</i>	47
<i>Obr. 6-14 Porovnání odhadů a průměrné roční výroby FVE</i>	48
<i>Obr. 6-15 Zpracovaná oblast obce [22]</i>	49
<i>Obr. 6-16 Účinnost FV panelu v závislosti na orientaci [28]</i>	50
<i>Obr. 6-17 Fragment obce [50]</i>	50
<i>Obr. 6-18 Rozdělení domů dle typu střechy</i>	53
<i>Obr. 6-19 Porovnání zastavěné plochy a celkové střešní plochy</i>	53
<i>Obr. 6-20 Porovnání celkové a využitelné střešní plochy</i>	54
<i>Obr. 6-21 Poměr orientace střech v závislosti na scénáři (RD)</i>	54
<i>Obr. 6-22 Poměr orientace střech v závislosti na scénáři (jiné budovy)</i>	55
<i>Obr. 6-23 Poměr orientace střech v závislosti na scénáři (celkem)</i>	55
<i>Obr. 6-24 Porovnání instalovaného výkonu v závislosti na scénáři</i>	56
<i>Obr. 6-25 Porovnání různých metodik stanovujících maximální technický potenciál obce</i>	57
<i>Obr. 6-26 Porovnání FV potenciálu jižních střech se spotřebou</i>	58
<i>Obr. 6-27 Porovnání celkové roční výroby pro různé scénáře</i>	59
<i>Obr. 6-28 Porovnání odhadované roční výroby RD pro různé scénáře</i>	59
<i>Obr. 6-29 Odhadovaná měsíční výroba střešních FV instalací</i>	62
<i>Obr. 6-30 Odhadovaná měsíční výroba FV instalací jižních střech</i>	63
<i>Obr. 6-31 Odhadovaná denní výroba střešních FV instalací pro červenec</i>	64
<i>Obr. 6-32 Odhadovaná denní výroba FV instalací jižních střech pro červenec</i>	65
<i>Obr. 6-33 Odhadovaná průměrná denní výroba střešních FV instalací pro prosinec</i>	66

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 5-1 Informativní hodnoty součinitele špičkového výkonu [53]</i>	34
<i>Tab. 6-1 Roční výroba střešní FV instalace domu [47]</i>	48
<i>Tab. 6-2 Vstupní data pro výpočet výroby FV panelů</i>	51
<i>Tab. 6-3 Získaná data pro FV panely</i>	51
<i>Tab. 6-4 Vstupní data pro výpočet výroby FV tašek</i>	52
<i>Tab. 6-5 Získaná data pro FV tašky</i>	52
<i>Tab. 6-6 Přehled statistických dat</i>	60
<i>Tab. 6-7 Přehled vstupních dat do simulace</i>	61
<i>Tab. 6-8 Odhadovaná roční výroba střešních FV instalací</i>	61
<i>Tab. 6-9 Odhadovaná roční výroba uvažující pouze jižní střechy</i>	63
<i>Tab. 6-10 Odhadovaná denní výroba střešních FV instalací pro červenec</i>	64
<i>Tab. 6-11 Odhadovaná průměrná denní výroba jižních střech pro červenec</i>	65
<i>Tab. 6-12 Odhadovaná průměrná denní výroba FV instalací pro prosinec</i>	66
<i>Tab. 6-13 Výpočet maximálního instalovatelného výkonu v obci</i>	67
<i>Tab. 6-14 Porovnání maximálního instalovatelného výkonu v závislosti na scénáři</i>	68
<i>Tab. 6-15 Maximální instalovaný výkon přizpůsobený charakteru obce</i>	68

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Význam
ČR	Česká republika
ČSÚ	Český statistický úřad
el. energie	elektrická energie
FV	fotovoltaika
FVE	fotovoltaická elektrárna
J	jih
JV	jihovýchod
JZ	jihozápad
NKEP	Národní klimaticko-energetický plán
RD	rodinný dům
S	sever
SV	severovýchod
SZ	severozápad
TRAXLE	tracking axle
V	východ
Z	západ

Symbol	Popis	Jednotka
A_{FV}	celková činná plocha všech fotovoltaických modulů (bez rámu), v normě označená jako A.	[m ²]
$E_{FV/r}$	potenciální roční produkce elektrické energie	[kWh]
E_h	hodinová produkce elektrické energie	[kW]
E_m	měsíční produkce elektrické energie	[kWh]
f_{perf}	činitel výkonnosti fotovoltaického systému	[-]
G	sluneční ozáření pro stanovení poklesu účinnosti, zpravidla $G = 200 \text{ W/m}^2$	[W/m ²]
G_{ref}	referenci sluneční ozáření (I_{ref} v normě) rovné 1 kW/m^2	[kW/m ²]
G_{ref}	referenční ozáření $G_{ref} = 1000 \text{ W/m}^2$,	[W/m ²]
$H_{T,měs}$	měsíční dávka slunečního ozáření	[kWh/m ² ·měs]
$H_{T,rok}$	roční dávka slunečního ozáření (E_{sol} v normě)	[kWh/m ² ·rok]
I	proud	[A]
I	intenzita slunečního záření blízko povrchu země	[W/m ²]
I_D	intenzita difuzního slunečního záření	[W/m ²]
I_P	intenzita přímého slunečního záření	[W/m ²]
k	součinitel pro daný modul	[-]
$K_{0,30}$	podíl vhodných budov	[-]
$K_{0,55}$	podíl vhodných budov	[-]
$K_{0,70}$	podíl vhodných budov	[-]
K_J	podíl vhodných jiných budov	[-]
k_{or}	koeficient ztrát zohledňující orientaci panelu	[-]

K_{or}	koeficient orientace panelu	[-]
K_{pk}	součinitel špičkového výkonu závisející na druhu technologie fotovoltaického modulu (u krystalických technologií se uvažuje minimální faktor zaplnění apertury článku 80 %)	[kW/m ²]
K_{RD}	podíl vhodných RD/BD	[-]
K_s	koeficient rozšíření plochy sedlových střech	[-]
K_{tep}	koeficient oteplení panelu	[-]
K_v	podíl využitelnosti střechy	[-]
$NOCT$	jmenovitá provozní teplota článku	[°C]
P	výkon	[W]
p	srážka vlivem elektrických ztrát	[%]
P_p	instalovaný výkon	[kWp]
P_{pk}	špičkový výkon FV systému	[kWp]
P_{pk}	špičkový výkon panelu	[kWp]
$P_{po/r}$	roční potenciál produkce el. energie z FVE	[kWh/kWp·rok]
P_{sJ}	podíl sedlových střech jiné budovy	[-]
P_{sRD}	podíl sedlových střech RD	[-]
$S_{ČSÚ}$	zastavěná plocha (ČSÚ)	[m ²]
S_o	plocha půdorysu domu	[m ²]
S_p	plocha zabíraná jedním panelem	[m ²]
S_z	zastavěná plocha (zahrnuté RD/BD)	[m ²]
t_{FV}	teplota fotovoltaického článku	[°C]
t_{ref}	referenční teplota článku 25 °C	[°C]
T_{st}	typizace střechy	[-]
U	napětí	[V]
γ	teplotní součinitel výkonu pro daný modul	[%/K]
$\Delta\eta G$	pokles účinnosti s poklesem slunečního ozáření	[%]
η_{ref}	referenční účinnost při normových zkušebních podmínkách (1000 W/m ² , 25 °C)	[%]

1 ÚVOD

Po skokové výstavbě velkých fotovoltaických elektráren mezi lety 2009 až 2013 nastalo několik let trvající období stagnace. To se však v posledních letech začíná měnit a dochází postupnému nárůstu především malých střešních fotovoltaických instalací do 10 kWp sloužících především pro vlastní spotřebu domácnosti. Tento pozitivní vývoj na poli fotovoltaických elektráren nastal především díky změně dotačních programů na obnovitelné zdroje, které nyní podporují především malé střešní fotovoltaické elektrárny spolu s bateriovými úložišti. Zároveň dochází k neustálému vývoji technologií fotovoltaických panelů. Nové modely přinášejí zvýšení účinnosti spolu s nižší pořizovací cenou a tento trend bude v následujících letech pokračovat, jelikož se současné technologie fotovoltaických článků nedostali na své technologické maximum.

Současným trendem elektroenergetiky je decentralizace výroby elektrické energie spolu se zvýšením podílu obnovitelných zdrojů ve výrobním mixu. Na území České republiky v současné době není přáno dalšímu rozvoji větrných a vodních elektráren. To je způsobeno geografickou polohou České republiky spolu s charakterem krajiny a nákladností investic s dlouhou dobou návratnosti. Z obnovitelných zdrojů se tedy do budoucna nabízí především rozvoj fotovoltaických elektráren. Je tedy možné v budoucnu předpokládat plošné rozšíření střešní fotovoltaiky z důvodu absence nutnosti zásahu do krajiny. Rozvoj střešní fotovoltaiky může mít podpůrný vliv na přicházející elektromobilismus. Zároveň mohou v budoucnu bateriová úložiště sloužit k regulaci sítě.

Na téma plošného rozšíření střešní fotovoltaiky již bylo na území České republiky zpracováno několik studií přinášejících hrubý odhad maximálního možného instalovatelného výkonu na střechy bytových a jiných budov. Tyto studie však vycházejí ze statistických dat, a proto jsou zatíženy velkou chybou. Tato bakalářská práce navrhuje přístup umožňující s přiměřenou přesností stanovit technický potenciál instalovatelného výkonu spolu s odhadovanou roční výrobou pro menší obce (do 3 000 obyvatel). Navrhovaná metodika vychází z normy ČSN EN 15316-4-3 a za pro stanovení celkového potenciálu obce je nutné propočítat každý dům zvlášť. To je jedním z důvodů vhodnost této metodiky pouze pro obce, případně městské čtvrti vyznačující se vysokým podílem samostatně stojících rodinných domů. Navrhovaná metodika je u menších obcí výhodná z důvodu nízkého požadavku na vstupní data a zároveň jsou všechna veřejně dostupná zdarma, proto s sebou nenese náklady na licence simulačních programů či případné podrobné mapování terénu lidarem.

2 ÚVOD DO FOTOVOLTAIKY

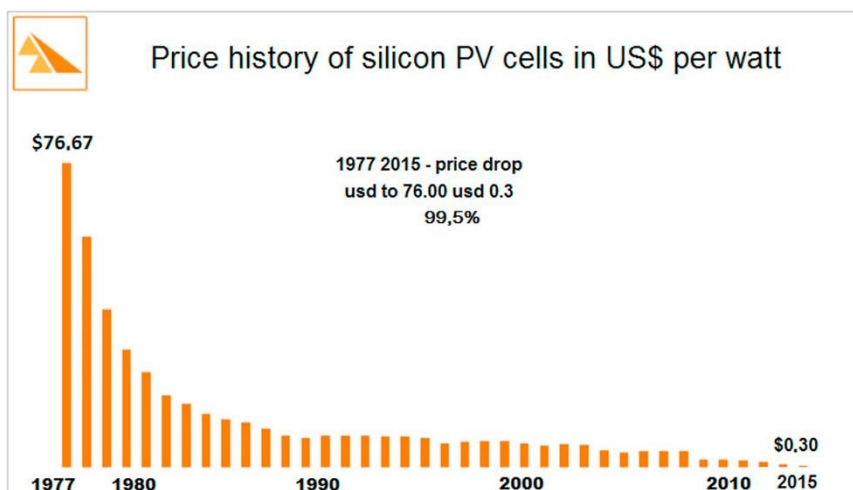
Historie fotovoltaiky sahá až k roku 1839, kdy za první milník může být považováno objevení fotoelektrického jevu francouzským fyzikem Alexandrem Edmondem Becquerelem. Fotoelektrický jev byl následně teoreticky popsán Albertem Einsteinem roku 1905. Tato hypotéza byla experimentálně potvrzena roku 1916 Robertem Andrewsem Millikanem [44].

Samotný fotovoltaický jev vzniká v polovodičích v okamžiku, kdy se „foton s dostatečnou energií uvolní elektron z valenčního pásu do pásu vodivostního. Ve valenčním pásu zůstane „chybějící elektron“, tzv. díra, kterou lze považovat za elementární kladný náboj (díra se pohybuje tak, že se do ní přemístí valenční elektron sousedního atomu, čímž se díra přesune na původní místo tohoto elektronu) Zjednodušeně lze prohlásit, že dopadem fotonu se vytvoří pár pohyblivých nábojů elektron-díra. Tyto náboje se difúzí nebo působením elektrického pole v okolí PN přechodu pohybují ve směru k elektrodě se stejnou polaritou – elektron k záporné a díra ke kladné. Při propojení elektrod vnějším obvodem putují elektrony k opačné elektrodě, kde rekombinují s děrami – vnějším obvodem prochází elektrický proud.“ [44].

Fotovoltaický jev byl poprvé pozorován roku 1876 Williamem G. Adamsem a jeho žákem Richardem E. Dayem na PN přechodu, který byl vytvořen mezi selenem a platinou. Při tomto experimentu byl pozorován vznik elektrického napětí bez vnějšího elektrického pole při dopadajícím slunečním záření. Tento experiment nebyl ojedinělý a v následujících letech se objevovali další vědci, kterým se podařilo vyrobit fotovoltaický článek, avšak dlouho se nedařilo přesáhnout účinnost 1 %. Avšak již v té době se objevovala myšlenka konkurence fotovoltaiky uhelným elektrárnám [44].

Zásadním zlomem v technologii fotovoltaiky byl rok 1954, kdy se v Bellových laboratořích podařilo vyrobit článek z monokrystalického křemíku dosahující účinnosti 6 %. K prvnímu praktickému využití fotovoltaických článků jako zdroje elektrické energie došlo již roku 1958 na orbitálních družicích. Ve vesmírných programech se fotovoltaika používá jako hlavní zdroj el. energie doposud [44].

Na počátcích výroby fotovoltaických panelů se v 50. letech pohybovala cena v tisících dolarů za watt jmenovitého výkonu. Takto vysoká cena byla zapříčiněna především technologií výroby. Vývoj cen fotovoltaického článku přepočítané na jeden watt výkonu v období 1977 až 2015 zobrazuje Obr. 2-1 [44].



Obr. 2-1 Vývoj ceny fotovoltaických článků [9]

Vážný zájem o využití fotovoltaiky jako alternativního zdroje výroby elektrické energie se objevil až v 70. letech 20. století z důvodu ropné krize. Vývoji technologie fotovoltaiky se následně věnoval výrazný výzkum, jehož výsledkem je neustálé snižování výrobní ceny a zvyšování účinnosti [44]. Tento vývoj převládá již do dnešních dní, kdy se cena článku přepočítaného na 1 watt pohybuje pod 0,3 USD [9].

2.1 Technologie fotovoltaických článků

Fotovoltaické články procházejí neustálým vývojem a je snaha o celkové zvýšení účinnosti fotovoltaických (dále FV) článků a snížení nákladů na jejich výrobu. Na trhu je dostupných několik typů FV článků, které se liší tvarem, barvou, technologií výroby, efektivitou a cenou.

2.1.1 Monokrystalické křemíkové články

Monokrystalické křemíkové články se skládají z jediného krystalu křemíku. Obvykle jsou čtvercového tvaru se zkosenými, popřípadě zaoblenými rohy. Tyto čtvercové články se obvykle vyrábějí s délkou hrany 100 mm, 125 mm a 15 mm. Běžně se také udává délka hrany v palcích, tedy 4, 5 a 6 palců. Na nejčastěji vyráběném solárním článku o délce hrany 15,2 mm, jsou obvykle umístěny 3 vodivé pásy. Dále jsou monokrystalické články vyráběny i kruhového tvaru. Tyto FV články jsou používány, jelikož umožňují částečnou průhlednost [16].

Z důvodu složení monokrystalického fotovoltaického článku z jediného krystalu je povrch článku homogenně modrý až černý. Monokrystalický solární článek zobrazuje Obr. 2-2. Tento typ fotovoltaického článku dosahuje až účinnosti přes 21 %. Průměrná účinnost článků na trhu se pohybuje v rozmezí 15 až 17 %. Tvar článků je dán způsobem výroby. Nejpoužívanější způsobem výroby fotovoltaického článku je takzvaný Czochralského proces. Ten spočívá v ponoření zárodku krystalu křemíku do vysoce čisté taveniny. Při pomalém otáčení se vytahuje kulatá monokrystalická křemíková tyč průměru až 30 cm a délkou několika metrů. Křemík se taví v kotli při teplotě 1420 °C. Kulatá tyč se následně seřízne na čtvercový průřez a dále rozřeže na 0,3 mm tenké destičky. Na destičky je nanášena zadní kontaktní a antireflexní vrstva. Antireflexní vrstva zabraňuje odrazu světla z fotovoltaického článku a umožňuje vysoké využití slunečního záření [16].



Obr. 2-2 Monokrystalický článek [24]

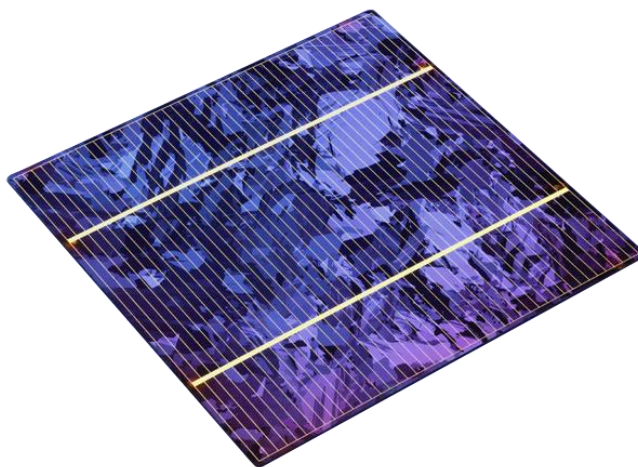
2.1.2 Polykrystalické křemíkové články

Polykrystalické křemíkové články jsou naopak tvořeny velkým počtem krystalů. Od monokrystalických článků jsou na první pohled odlišitelné dle viditelné nehomogenní krystalické struktury viz *Obr. 2-3*. Polykrystalické články jsou čtvercového tvaru s délkou hrany 100 mm, 125 mm, 150 mm, 156 mm a 210 mm (v mezinárodních jednotkách 4, 5, 6, 8 palců). Oproti monokrystalickým FV článkům jsou značně levnější na výrobu. Při jejich výrobě vzniká oproti monokrystalickým článkům menší množství odpadu. Účinnost těchto článků se pohybuje v rozmezí 13 – 16 % [16].

Při výrobě polykrystalických solárních článků je obvykle použita metoda blokového lití. Křemík je ve vakuu zahřán na teplotu 1500 °C. Následně je v grafitovém křemíku regulovaně ochlazován až do blízkosti bodu tání. Tímto způsobem jsou vytvořeny polykrystalické křemíkové bloky o velikosti 40 x 40 x 30 cm. Bloky jsou následně rozřezány na tyče a ty pak na destičky [16].

Polykrystalické fotovoltaické články mají oproti tradičním monokrystalickým fotovoltaickým článkům několik modifikací, které jsou způsobeny různými technologiemi výroby polykrystalických článků. Jedním ze speciálních typů polykrystalického článku jsou takzvané pásové křemíkové články. Aby se zvýšilo využití materiálu, tak jsou z taveniny vytahovány fólie o tloušťce přibližně 0,1 mm. Pásky fólie jsou následně pomocí laseru řezány na kousky. Oproti předchozím metodám je tato mnohem méně energeticky náročná a zároveň i šetří materiál. Zmíněná metoda byla vyvinuta v 90. letech. Od té doby je běžně používána v průmyslové výrobě a umožnila snížení výrobních nákladů [16].

Hlavní výhodou tenkovrstvých článků je poměrně krátká doba energetické návratnosti. Při výrobě se teplota pohybuje v rozmezí 200 až 500 °C. Články jsou méně citlivé na vliv teploty a zastínění. Umožňují vyšší spektrální využití slunečního záření. Technologie výroby umožňuje i částečnou průhlednost, což zvyšuje možnosti jejich využití. Tenkovrstvé články působí na pohled z dálky velice homogenní. Toho může být využito především u střešních instalací, jelikož jsou na pohled méně nápadné. Tyto články ovšem nedosahují takového výkonu, proto je nutná větší plocha instalace a s tím spojené vyšší náklady [16].



Obr. 2-3 Polykrystalický článek [24]

2.1.3 Amorfnní křemíkové články

Amorfnní křemíkové články netvoří pravidelnou krystalickou strukturu, ale neuspořádanou síť. Struktura fotovoltaického panelu je zobrazena na Obr. 2-4. K výrobě amorfnních článků je potřeba teplota pouze 200 °C z plynného silanu. Nově vyrobený modul má přibližně o 15 % vyšší účinnost, než je udávaná hodnota. V době prvních měsíců po instalaci klesne účinnost panelu na výrobcem udávanou hodnotu. „Dotovaný amorfnní křemík má velmi krátkou difuzní vzdálenost, volné nosiče náboj by ihned opět rekombinovaly, příspěvek k výrobě proudu je tedy sotva možný. Nápravu zajišťuje vestavba nedotované vrstvy p a n, ve které je životnost nosičů náboj podstatně vyšší. Zde se odehrává absorpce světla a vytváření náboje, kdežto vrstvy p a n vytvářejí elektrické pole, které uvolněné nosič náboje odděluje. Tato struktura se nazývá pin.“ [16]

Amorfnní články dosahují pouze nízké účinnosti, což je jejich velkou nevýhodou. Vyšší účinnosti je dosahováno využitím vícevrstvých článků využívajících několik struktur pin umístěných nad sebou. Výhodou amorfnních článků je, že můžou být nanášeny na ohebnou fólii, která umožňuje přizpůsobení se tvaru pokládaného povrchu [16].



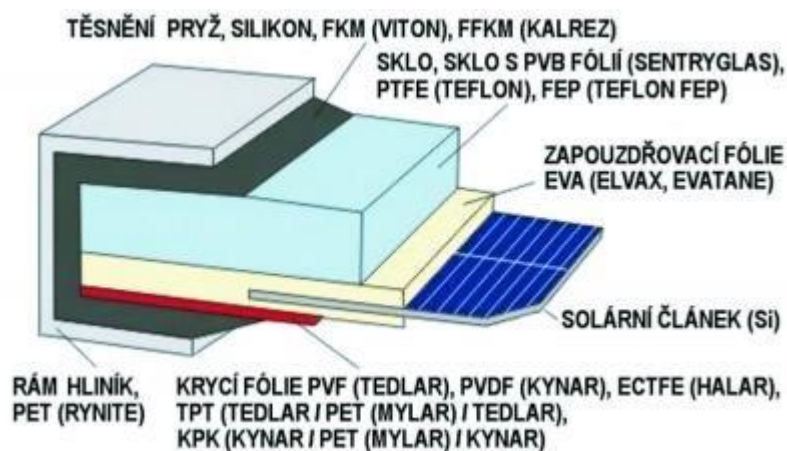
Obr. 2-4 Amorfnní fotovoltaický panel [39]

2.2 Struktura fotovoltaického panelu

Fotovoltaický panel je tvořen krystalickými články o výkonu až 4 W s typickým napětím článku 0,5 V. Aby bylo dosaženo vyššího cíleného napětí, tak jsou články sestaveny do „fotovoltaického modulu“. Obvyklé množství článků v modulu je 36, 48, 54, 60, 72. Tento počet se liší v závislosti na výrobcí a specifikaci panelu. Články jsou v modulu zapojeny do jedné nebo dvou větví [16].

Fotovoltaické články jsou náchylné na poškození, a aby mohly bezproblémově sloužit po dobu své životnosti, musí být patřičně chráněny před okolními podmínkami jako je déšť, sníh, krupobití, vítr, výkyvy teplot. Toho je docíleno zapouzdřením článků do fotovoltaického panelu. První ochrannou vrstvou je speciální kalené sklo s vysokou mírou propustnosti slunečního záření schopné odolat i kroupám do průměru 2 – 2,5 cm a dalším extrémním podmínkám závislejících na prostředí jejich umístění. Může být využito i vrstvené sklo s PVB fólií, teflon (FTFE) či litá pryskyřice. [13] Další vrstvou je zapouzdřovací EVA fólie. Jedná se o organický materiál, který při vystavení vysokým hodnotám UV záření žlutne. Dochází tedy u něj časem k poklesu optické transparentnosti, a tedy k celkovému poklesu účinnosti výroby elektrické energie fotovoltaickým panelem. V této fólii jsou uloženy vlastní fotovoltaické články, které jsou dále ze spodu chráněny

krycí fólií. Celý fotovoltaický panel obepíná hliníkový rám, který je upevněn k nosné konstrukci. Jednotlivé vrstvy jsou popsány v Obr. 2-5 [12].



Obr. 2-5 Struktura fotovoltaického panelu [13]

2.3 Fotovoltaické tašky

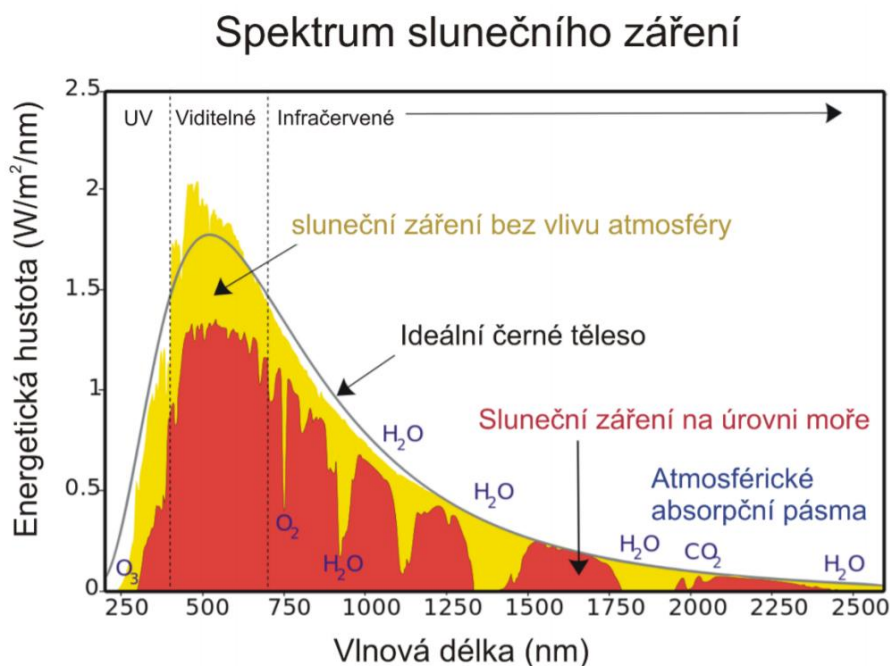
Relativní novinkou na trhu střešní fotovoltaiky jsou fotovoltaické tašky. Jedním z výrobců je například společnost Tesla (tehdejší Solar City), která FV tašky představila v roce 2017 a první instalace byly provedeny v první polovině roku 2018 [34].

Fotovoltaická taška má rozměry 21,5 x 35,6 cm (8,65 x 14 palců) a skládá se ze dvou fotovoltaických článků s každým o maximálním výkonu 6 W. Každá střešní taška je tedy teoreticky schopna produkovat 12 W. Při tomto předpokládaném výkonu může 20 – 25 solárních tašek produkovat stejný výkon jako fotovoltaický panel. Společnost Tesla uvádí cenu 198 amerických dolarů za metr čtverečný střešní krytiny s fotovoltaickými články. Přestože se oproti instalaci solárních panelů na střechu rodinného domu jedná z hlediska potenciální produkce elektrické energie o méně výhodnou variantu, tak s sebou přináší i řadu výhod. Prvním hlediskem je čistě ekonomické. Pokud se jedná o plánovanou novostavbu či rekonstrukci, tak odpadají náklady na běžnou střešní krytinu. Počáteční náklady jsou sice vyšší, ale v závislosti na poloze domu může v době očekávané životnosti solární střechy (cca 30 let) dojít k návratnosti celé investice. Jelikož byly první střechy solárními taškami osazeny relativně nedávno, tak návratnost investice je pouze modelována a výhodnost instalací se teprve ukáže v budoucích letech. Neopomenutelná výhoda solárních tašek je především čistě estetická. V porovnání s fotovoltaickými panely jsou FV (fotovoltaické) tašky výhodnější, jelikož díky moderním technologiím výroby mohou být solární články uvnitř skelné krytiny z ulice téměř neviditelné a esteticky nekazit ráz domu. Zároveň je na výběr z několika typů střešních FV tašek [34].

Evropským výrobcem FV tašek je například společnost Soleccosolar. V rámci potenciálního využití na střechách sedlových střech jsou pro své technické parametry v rámci bakalářské práce zvoleny tyto tašky. FV tašky jsou popsány v kapitole 6.4.

3 VLIV NA VÝKON FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ

Sluneční záření je poměrně výhodný zdroj energie. Průměrná intenzita slunečního záření dopadajícího na atmosférický obal Země je 1360 W/m^2 . Jedním z ukazatelů ovlivňujícím množství energie, které jsme schopni přeměnit na elektrickou energii je počet slunečních dnů v roce. Dalším faktorem je podíl přímého a difúzního slunečního záření. Zatímco přímé sluneční záření je vyzařováno přímo ze slunce a dopadá na povrch fotovoltaických panelů bez odrazů (převládá při jasných dnech). Vliv difúzního záření se projeví při oblačných dnech, kdy je přímé sluneční záření rozptýleno atmosférou. Složením těchto dvou záření je označeno jako globální záření. Spektrum slunečního záření je popsáno na Obr. 3-1 [20].



Obr. 3-1 Spektrum slunečního záření [46]

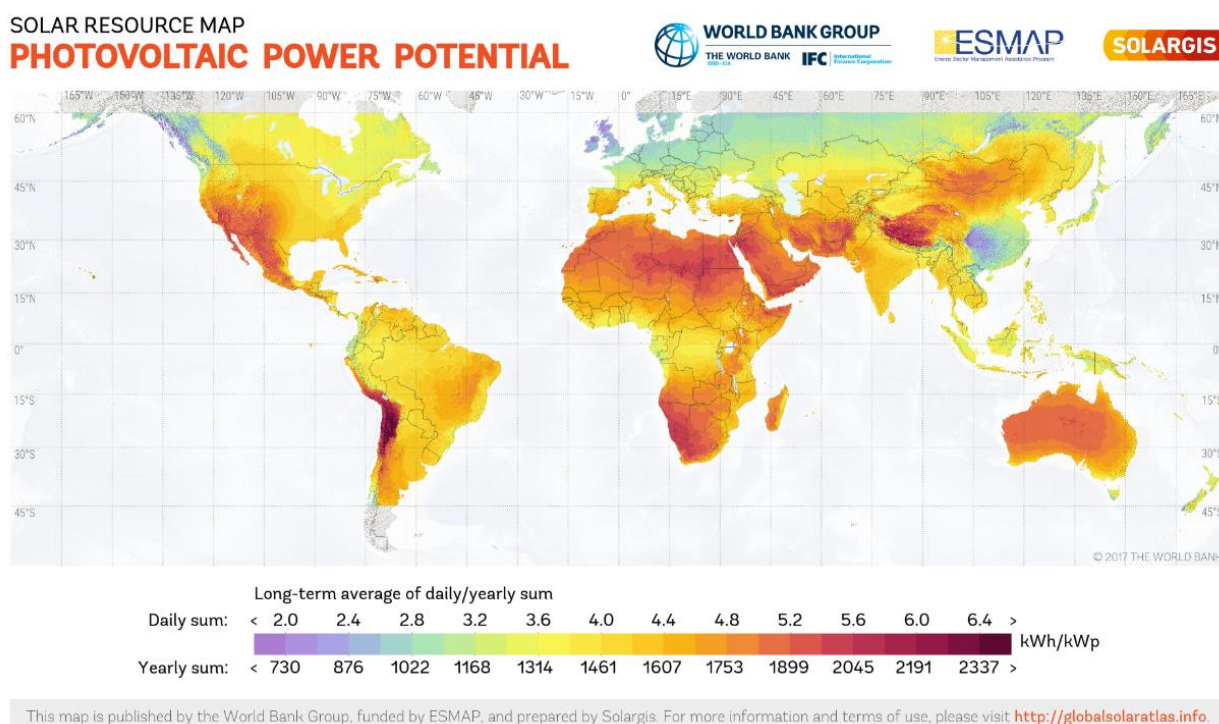
Při odhadování potenciální produkce fotovoltaických elektráren musí brán ohled na celkové geografické podmínky (neměnné) a místní podmínky, které mohou být řešeny.

3.1 Geografické podmínky

Hlavním faktorem určujícím výhodnost použití fotovoltaických panelů je podnebí vycházející z geografické polohy uvažovaného území. Následující Obr. 3-2 zobrazuje potenciál využití fotovoltaických elektráren ve světě. Převzatá mapa je vytvořená společností Solargis. Tato společnost se zabývá problematikou fotovoltaických elektráren a její veřejně publikované mapové podklady jsou podpořené místním měřením. Tato měření byla provedena i na území České republiky. Následující odstavec představuje krátký přehled 5 zemí s nejvyšším instalovaným výkonem (k roku 2017) ve FVE a stručným přehledem jejich očekávaného vývoje v budoucích letech.

Z přiložené mapy můžeme při porovnání se seznamem zemí s nejvyšším instalovaným výkonem ve fotovoltaických elektrárnách (dále FVE) vyčíslit závislost na geografické poloze a ekonomické vyspělosti dané země. Zemí s největším instalovaným výkonem ve FVE je Čína s celkovým instalovaným výkonem 130 GWp k roku 2017, přičemž 53 GWp výkonu bylo

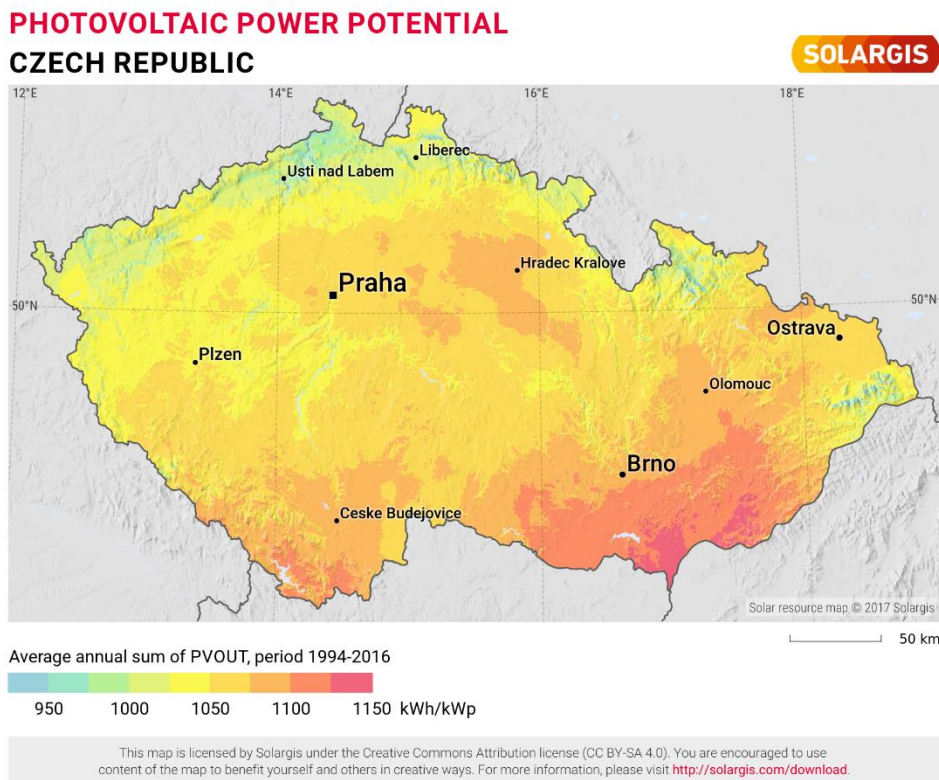
instalováno během roku 2017. Dle aktuálních předpovědí je očekáváno, že Čína k roku 2020 dosáhne 250 GWp instalovaného výkonu ve FVE. Další z ekonomicky vyspělých zemí s vysokou produkcí el. energie z fotovoltaických elektráren jsou Spojené státy americké s celkovým druhým největším instalovaným výkonem v FVE na světě 51 GWp [37]. Nejvyšší podíl instalovaného výkonu je soustředěn na území Kalifornie. Do budoucna se zde počítá s dalším rozšířením FVE a obecně velkými investicemi do OZE. Kalifornie se zavázala do roku 2045 vyrábět elektřinu pouze z bezemisních zdrojů. Dále bylo vytyčeno za cíl navýšení podílu OZE na výrobě elektrické energie na celkem 60 % k roku 2030 [1]. Dalším ze států masivně využívajících FVE jako zdroj el. energie je Japonsko s celkovým instalovaným výkonem 49 GWp. Oproti dříve zmíněným zemím však nedisponuje tolik výhodnými geografickými a klimatickými podmínkami. Největším evropským výrobcem el. energie z FVE je Německo disponující instalovaným výkonem 42 GWp k roku 2017. Z hlediska politiky této země k využívání OZE se zde předpokládá další nárůst instalovaného výkonu FVE v budoucích letech [37].



Obr. 3-2 Potenciál výroby el. energie z FVE ve světě [36]

3.1.1 Geografické podmínky České republiky

Na území České republiky se průměrná délka slunečných hodin pohybuje od 1400 h/rok do 1700 h/rok. Nejméně výhodné oblasti pro využití fotovoltaiky jsou na severozápadě republiky. Směrem k jihovýchodu republiky potenciální produkce elektrické energie narůstá. Nejvýhodnějšími oblastmi pro využití fotovoltaické energie je oblast jižní Moravy, dále pak okolí Hradce Králové a nížiny okolo Českých Budějovic. Následující Obr. 3-3 zobrazuje fotovoltaický potenciál jednotlivých oblastí České republiky, který se pohybuje v rozmezí 950 až 1150 kWh vyrobitelných z 1 kWp instalovaného výkonu za období 1 kalendářního roku. Mapa zobrazuje průměrnou hodnotu stanovenou z dat pocházejících z let 1994 až 2016 [38].



Obr. 3-3 Potenciál výroby el. energie z FVE v ČR [38]

3.2 Místní vlivy

Místními podmínkami uvažujeme takové, které přímo ovlivňují výrobu elektrické energie fotovoltaickými panely v dané lokalitě.

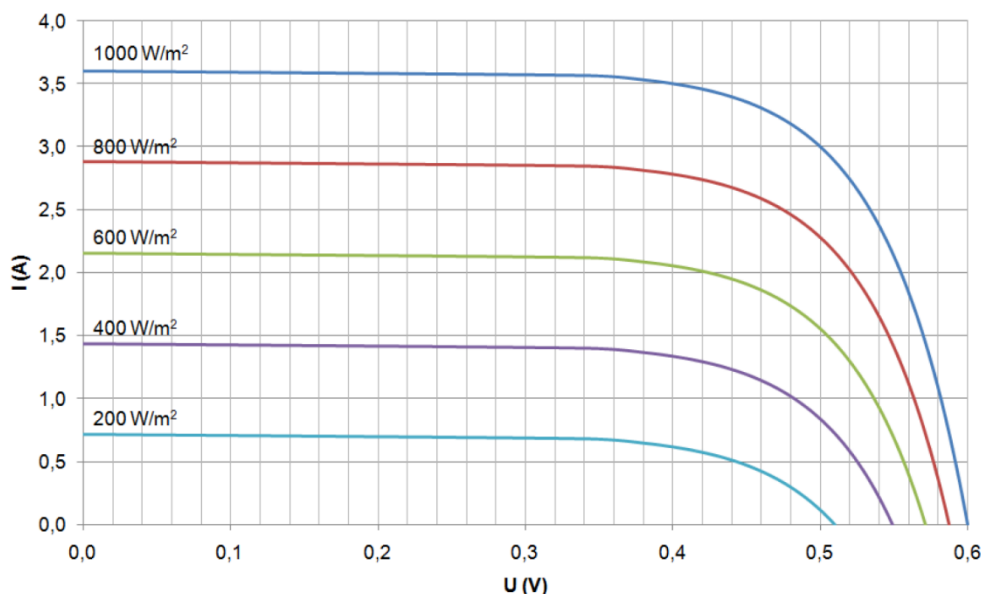
3.2.1 Intenzita slunečního záření

Nejvýznamnějším ukazatelem potenciální produkce fotovoltaických elektráren je intenzita slunečního záření. Jedná se o množství energie v kWh dopadající na 1 m² plochy. Intenzita slunečního záření je především udávána geografickou oblastí, avšak může být místně ovlivněna využitím koncentrátorových systémů. Intenzita slunečního záření je součet intenzity přímého a intenzity difuzního záření [35].

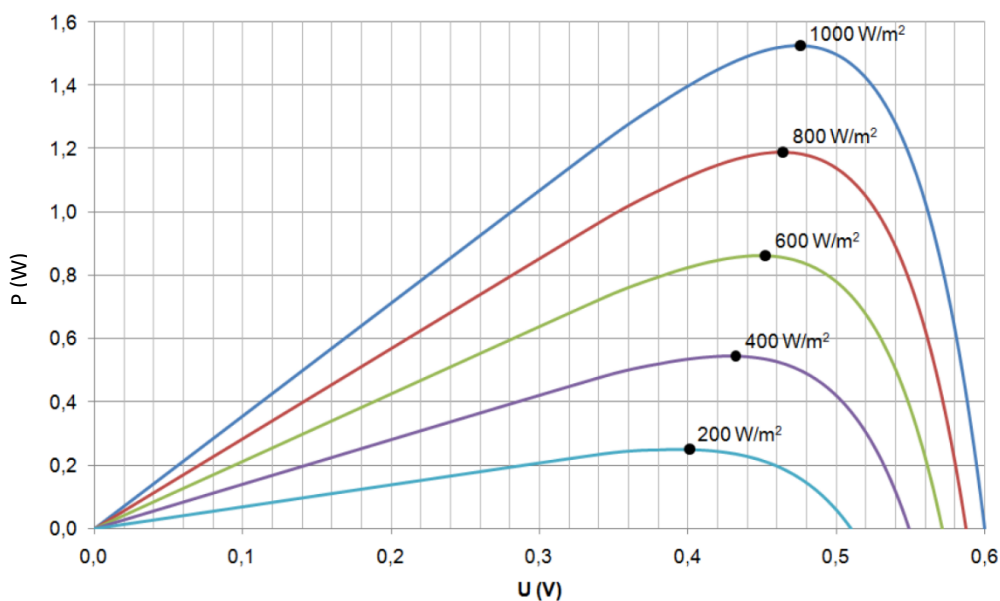
$$I = I_P + I_D \quad (3.1)$$

I	intenzita slunečního záření blízko povrchu země	[W/m ²]
I_P	intenzita přímého slunečního záření	[W/m ²]
I_D	intenzita difuzního slunečního záření	[W/m ²]

Průběhy voltampérové charakteristiky fotovoltaických článků jsou zobrazeny na obrázcích 3-4 a 3-5.



Obr. 3-5 VA charakteristiky FV článku pro různé intenzity slunečního záření [29]



Obr. 3-4 Výkonové charakteristiky FV článku pro různé intenzity slunečního záření [29]

3.2.2 Čistota ovzduší

Jedním z hlavních faktorů místně ovlivňujícím potenciální produkci fotovoltaického panelu je kvalita ovzduší. V oblastech velkých měst a velkých průmyslových komplexů dochází ke smogovým stavům, které nezanedbatelně snižují množství slunečního záření dopadajícího na fotovoltaický panel. Na fotovoltaických panelech tak dochází k usazování prachových částic, pylu, listů atd. Znečištění fotovoltaických panelů se týká především instalací se sklonem menším než 12° . U těchto panelů hůře probíhá samočištění deštěm a je nutné dodatečné čištění pro zachování maximálního možného výkonu. Ztráty znečištěním se dle literatury [16] pohybují obvykle v rozmezí 1 až 5 %. Ztráty znečištěním mohou být i značně vyšší v závislosti na okolních podmínkách. Vysoká míra znečištění je zobrazena na Obr. 3-6



Obr. 3-6 Znečištění fotovoltaických panelů [40]

3.2.3 Orientace panelu vůči slunci

Dalším parametrem ovlivňujícím účinnost fotovoltaického panelu je jeho postavení vůči slunci. Nejvyšší činnosti je dosaženo, je-li natočen na jih, jihovýchod nebo jihozápad pod úhlem přibližně 35° [26]. Při natočení na východ/západ klesá výnos energie pouze přibližně o 20 % procent [18]. To předurčuje možnost pokrytí celé sedlové střechy fotovoltaickými panely bez větší ztráty výkonu [26]. Na Obr. 3-7 je jih označen azimutem 0° . Úhel sklonu je úhel mezi fotovoltaickým modulem a vodorovnou rovinou [16].

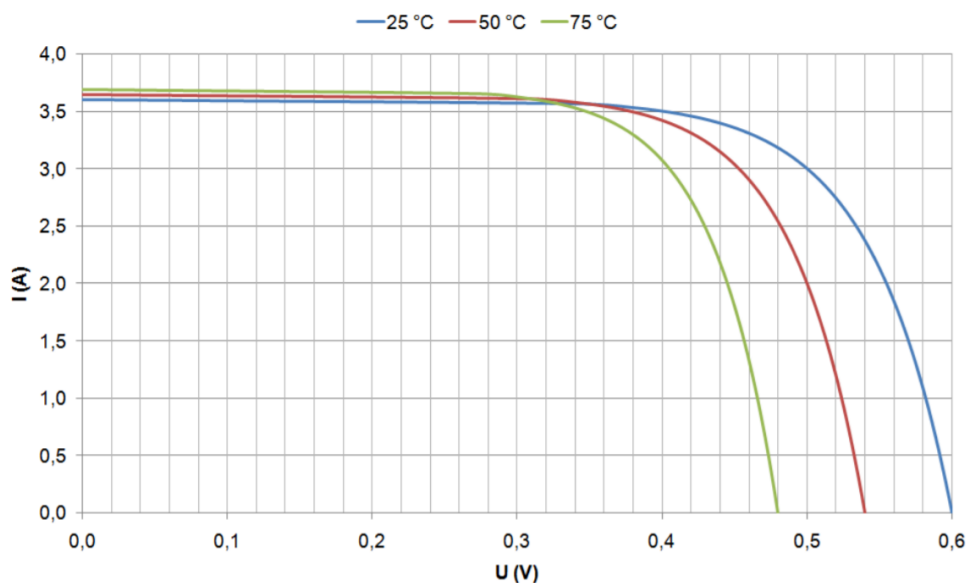


Obr. 3-7 Účinnost FV panelu v závislosti na jeho sklonu a orientaci [26]

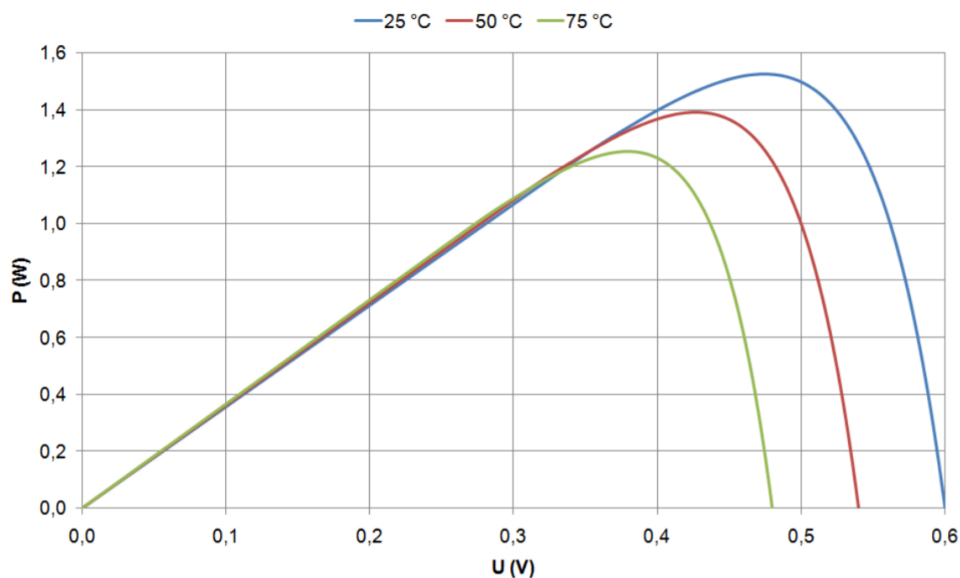
3.2.4 Teplota

Na množství vyrobené el. energie má výrazný vliv teplota FV panelu. Díky dlouhodobému působení slunečního záření se fotovoltaický panel zahřívá. V letních měsících, kdy teplota vzduchu dosahuje 40°C se FV články mohou zahřát až na teplotu 80°C . Při takto vysoké teplotě dochází ke zhoršení el. vlastností FV článku. To se především projeví na poklesu svorkového napětí článku

a následném snížení výkonu dodávaného do sítě. Ztráty způsobené přehřátím fotovoltaického panelu mohou v horkých letních dnech, kdy na panely působí největší intenzita slunečního záření, dosahovat až 75 % z dosažitelné denní výroby FV panelu. Průběh volt-ampérové charakteristiky FV článku v závislosti na teplotě zobrazuje Obr. 3-8. Závislosti výkonu na svorkovém napětí demonstruje Obr. 3-9. Z výše uvedených informací je zřejmé, že nejvyšší produkce el. energie je dosaženo při nízkých provozních teplotách. Na území České republiky můžeme tedy očekávat nejvyšší výrobu z FVE během dlouhých slunečných dnů začátkem a koncem léta při poměrně vysoké intenzitě slunečního záření. [29]



Obr. 3-8 Volt-ampérová charakteristika FV článku v závislosti na teplotě [29]

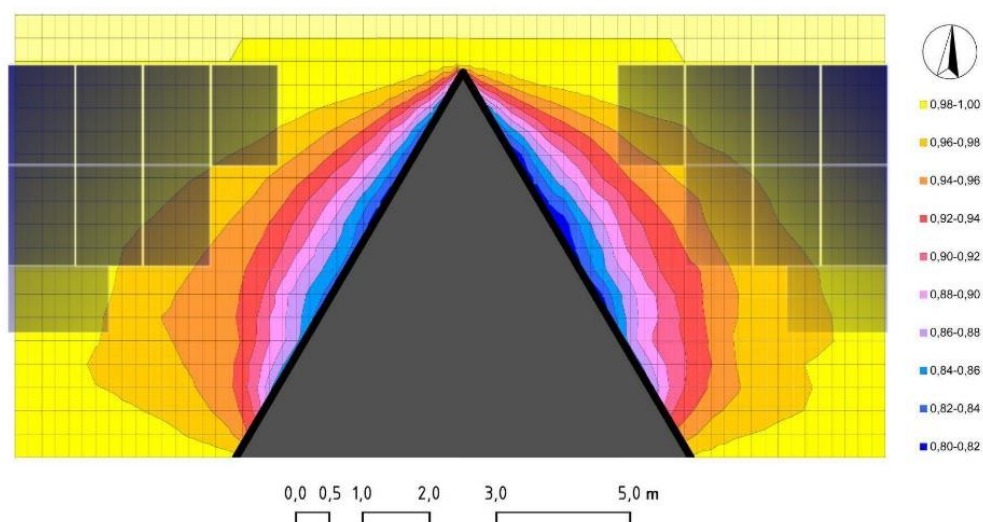


Obr. 3-9 Vliv teploty na výkon FV článku [29]

3.2.5 Zastínění

Fotovoltaické panely jsou velmi citlivé na částečné zastínění. Zastínění fotovoltaického článku výrazně snižuje tekoucí proud. Pokud jsou fotovoltaické články zapojeny v sérii, pak celkový dodávaný proud je roven nejméně osvětlenému článku. Okolní články dále produkují elektrickou energii, která je v zastíněném článku přeměněna na teplo. Zastíněný článek se dále zahřívá a v krajním případě může dojít k jeho přehřátí a nevratnému poškození. Z tohoto důvodu ve své struktuře FV panely obsahují obtokové (bypass) diody. Jedna dioda obvykle přemostňuje 18-20 fotovoltaických článků. Moduly s 36 fotovoltaickými články běžně obsahují 2 bypass diody. Tyto diody mají v konstrukci fotovoltaického panelu velmi důležitou funkci spočívající v ochraně před poškozením, zároveň zvyšují výkon FV panelu při částečném zastínění [16].

Zastínění fotovoltaických panelů může být způsobeno jak okolními budovami, stromy, tak i komínem nebo satelitním přijímačem. Simulace lokálního stínění na sedlové střeše je graficky znázorněna na *Obr. 3-10*. Obrázek na řezu části budovy demonstruje stínění působené vikýřem na přilehlou část sedlové střechy. Velkým problémem pro FV panely jsou liniové stíny (např. dráty elektrického vedení) nacházející se v blízkosti FV instalací. Pro určení náchylnosti fotovoltaické elektrárny na zastínění se provádí analýza zastínění. Dle průzkumu se vliv zastínění projevuje na snížené výrobě přibližně u poloviny střešních instalací [16].



Obr. 3-10 Simulace lokálního stínění na sedlové střeše [5]

3.3 Požadavky na dům

Pokud se při projektování novostavby nebo úpravě stávajícího domu uvažuje o přítomnosti střešní fotovoltaické elektrárny je nutné zvážit několik faktorů.

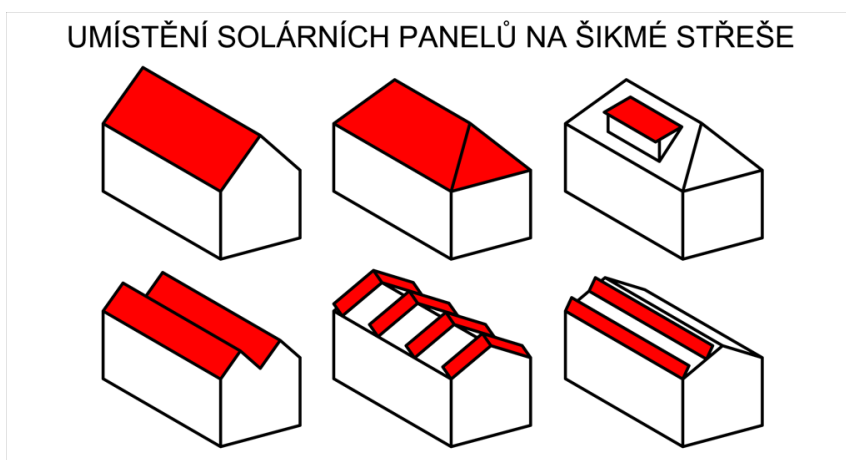
Prvním parametrem, který nejde vždy ovlivnit je poloha domu. Objekt by se neměl nacházet v blízkosti velkého průmyslového komplexu, pole nebo lesu z důvodu znečištění ovzduší prachovými částicemi, které lehce snižují účinnost FV panelu. Je zde požadavek na patřičnou velikost střešní plochy pro instalaci malé fotovoltaické elektrárny umožňující případný ostrovní chod domácnosti, v ideálním případě i dodávku do sítě, či skladování el. energie v bateriovém úložišti. Samotné požadavky na střechu jsou ideální natočení a sklon střešní krytiny vůči slunci, na kterou se plánují instalovat FV panely/tašky. Nebo může být uvažováno o instalaci nosných konstrukcí pro FV panely, které ideální natočení panelů umožní. Zároveň by mělo být zohledněno

chlazení FV panelů cirkulujícím vzduchem, aby nedocházelo k přehřívání FV panelů a následnému nevratnému poškození. Dále musí být zohledněno očekávané stínění a minimalizování jeho zdrojů. Toho může být docíleno například úpravou architektonických prvků domu [16].

3.4 Umístění fotovoltaických panelů na domech

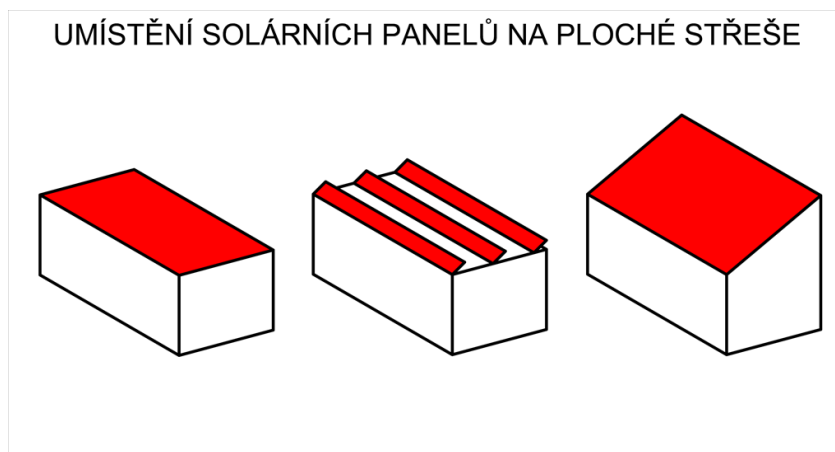
Fotovoltaické panely mohou být rozmístěny na téměř každý rodinný či bytový dům mnoha způsoby. V závislosti na typu střechy může být vybíráno z několika možností, přičemž musí být nalezen kompromis mezi teoretickým získatelným výkonem střešní fotovoltaické elektrárny, estetikou a údržbou. Na výkon fotovoltaické elektrárny má vliv především postavení fotovoltaických panelů vůči slunci. Pro nejvyšší výkon by měly být fotovoltaické panely natočeny ideálně k jihu, jihozápadu nebo jihovýchodu. Při této orientaci dochází pouze k minimálním ztrátám, které se pohybují do 5 %. Při orientaci na východ či západ musí být počítáno se ztrátami okolo 20 % vůči ideální orientaci. Ideální sklon fotovoltaických panelů je 35 %. Při instalování panelů se sklonem v rozmezí od 20° do 55° dochází ke ztrátám maximálně 5 % [18].

U sedlových střech (*Obr. 3-11*) může být této orientace dosaženo pomocí podpůrných konstrukcí. Toto řešení není příliš vhodné pro sedlové střechy z důvodu rizika poškození nosných konstrukcí solárních panelů při namáhání větrem. Pro střechy se sklonem větším než 15° je vhodná instalace FV panelů rovnoběžně se střešní krytinou, přičemž tímto způsobem umožňuje pokrýt většinu střechy a využít téměř celý energetický potenciál. Snížení účinnosti u méně výhodně orientovaných fotovoltaických panelů se bude pohybovat do 20 % [18]. U severně orientovaných střech se ztráty pohybují okolo 40 % až 50 % [28].



Obr. 3-11 Umístění solárních panelů na sedlové střеше [18]

U rovných střech (*Obr. 3-12*) administrativních budov, bytových domů a továrních hal se především uplatňuje užití přídavných konstrukcí k dosažení ideální orientace fotovoltaických panelů vůči slunci. Vodorovné uložení fotovoltaických panelů snižuje jejich účinnost. V důsledku absence cirkulace vzduchu pod fotovoltaickými panely nemusí docházet k dostatečnému chlazení FV panelů, což vede k celkovému zvýšení teploty fotovoltaických článků. Další nevýhodou takto instalovaných solárních panelů je ztráta samočisticí schopnosti, která nastává u panelů se sklonem menším než 15°. To vede k nutnosti pravidelné údržby, a tedy ke navýšení celkových nákladů na provoz. Tyto negativa mohou být vyvážena navýšením plochy pokrytou fotovoltaickými panely [18].



Obr. 3-12 Umístění fotovoltaických panelů na rovné střeše [18]

3.5 Trackingové systémy

Jednou z možností, jak docílit maximálního možného potenciálního výkonu daného umístěním fotovoltaického panelu, je využití trackingového systému. Systémy umožňující změnu orientace fotovoltaického panelu nazýváme TRAXLE (tracking axle). Princip tohoto zařízení je postaven na umístění fotovoltaického panelu na rotační osu zařízení, které je tvořeno dvěma sekcemi vůči sobě otočenými o 180° (hlavní sekce je otočená na západ a pomocná sekce na východ) [51].

„Rovina řídicího panelu je od roviny kolmé ke kolektorům solární energie a rovnoběžné s rotační osou zařízení odchýlena o úhel β k východu a obě sekce jsou antiparalelně připojeny přímo k elektromotoru spojenému s rotační osou zařízení.“ [51]

Velikost úhlu β se obvykle pohybuje v rozmezí 15 až 20 stupňů. *„Úhel β by měl být právě takový, aby při dopadu slunečního záření pod úhlem dopadu větším, než β byla síla motoru větší než síla potřebná k orientaci zařízení, ale aby při dopadu slunečního záření pod úhlem dopadu menším, než β byla síla motoru menší než síla potřebná k orientaci zařízení. Potom když na řídicí panel posvítí přímé sluneční záření z kterékoliv strany pod úhlem dopadu větším než β , signál z této strany je větší než signál z opačné strany a energie vyrobená řídicím panelem pohybuje motorem tak, že systém se orientuje tím směrem, aby se úhel dopadu zvětšil.“ [51]*

Pohyb fotovoltaického panelu je ukončen v okamžiku, kdy úhel dopadu slunečního záření je roven úhlu β . V této pozici je síla motoru je menší než síla potřebná ke změně orientaci systému. Pohon otáčení fotovoltaického panelu je opět uveden do chodu v okamžiku, kdy dojde ke zvýšení úhlu dopadu v důsledku pohybu slunce po obloze. Systém tak mění svou orientaci v průběhu dne od východu k západu (ne však spojitě) [51].

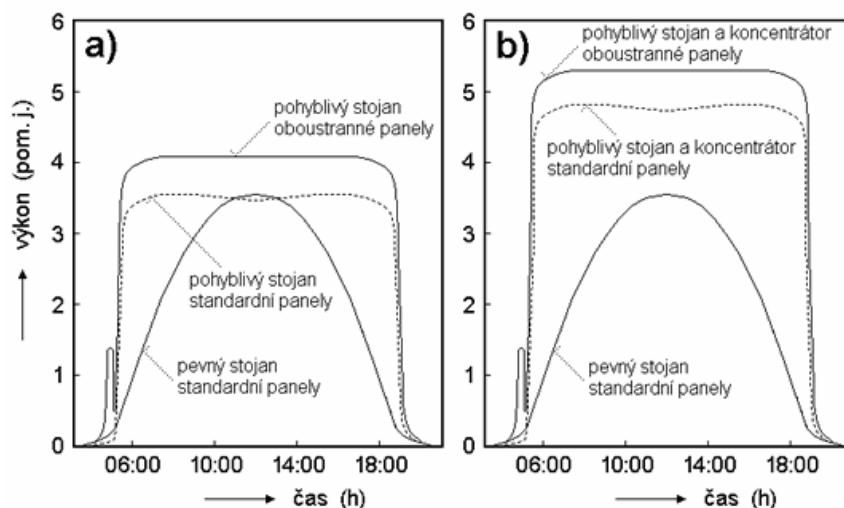
Při svítání je fotovoltaický panel za normálních podmínek orientovaný na západ, kde večer předchozího dne došlo k zastavení jeho orientace. Během svítání dopadá sluneční záření na řídicí panel připojený k motoru, ten zahájí změnu orientace na východ. Ke změně orientace panelu dochází vždy, když není dodržena podmínka o úhlu dopadu β [51].

Další zvýšení potenciální produkce el. energie fotovoltaickými panely rozšířených o trackingový systém může být docíleno přidáním hřebenového koncentrátoru. Tento koncentrátor kombinuje dvě zrcadla spojená do tvaru obráceného písmene V, která pólí aktivní plochu fotovoltaických panelů uprostřed. I přes přidaná zrcadla není konstrukce fotovoltaického panelu v důsledku větru přetěžována. Fotovoltaické panely využívající tuto technologii jsou více náchylné

na přehřívání a z toho vyplývá i jejich kratší životní cyklus. I v zimním období bylo běžné, že u těchto systémů docházelo k výraznému přehřívání. Tento problém je například řešen tím, že při zvýšení teploty panelu nad 80 °C dojde k jeho automatickému vychýlení z ohniska, aby bylo předejito poškození fotovoltaických panelů. I přes zvýšenou komplikovanost celého systému je tato kombinace koncentrátoru a solárních panelů velice spolehlivá [51].

Současné technologie umožňují využití oboustranných FV panelů. To může být poměrně výhodné, jelikož celkové množství vyrobené el. energie může být navýšeno až o 10 – 15 % oproti použití tradičních panelů. Pro maximální využití sluneční energie je výhodné v okolí takového FV systému využívat materiály s vyšší odrazivostí z důvodu maximalizování dopadu odraženého slunečního záření na spodní stranu FV panelu. Vysokou odrazivost má například křemenný písek, v zimě pak sníh. Travnatý a hliněný povrch je v okolí instalací nevhodný z důvodu nízké odrazivosti. Některé typy oboustranných FV panelů na bázi krystalického křemíku nevyužívají fotonů s vlnovou délkou větší než 1 100 nm (tj. oblast infračerveného záření). Tyto panely jsou vhodné pro použití u trackingových systémů s koncentrátory zejména z důvodu snížení pracovní teploty FV panelu v rozmezí 5 – 12 °C. Snížení pracovní teploty má za následek další zvýšení výroby el. energie o dalších 3 – 5 %. Dalším pozitivem pak je prodloužení životnosti FV panelu [51].

Kombinace výše uvedených efektů vede k navýšení výroby el. energie o 10 – 20 % oproti použití tradičních FV panelům osazených hřebenovým koncentrátorem a trackingovým systémem. Následující *Obr. 3-13* zobrazuje porovnání idealizovaných závislostí okamžitého výkonu dodávaného FV systému o různých konstrukcích [51].



Obr. 3-13 Idealizovaná závislost okamžitého výkonu FV panelů odlišných konstrukcí [51]

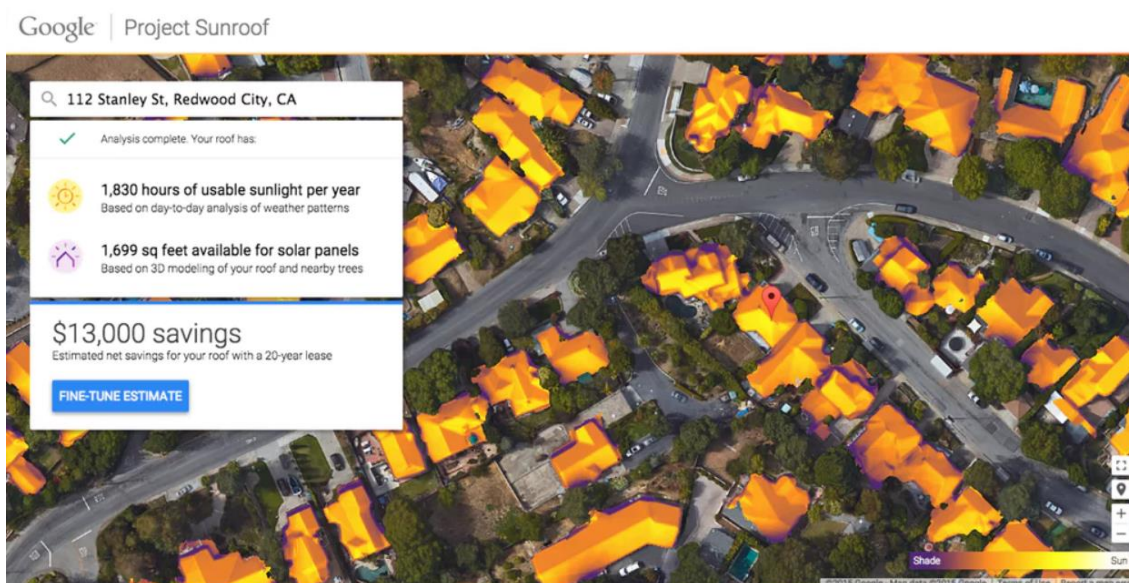
3.6 Project Sunroof

Project Sunroof je nástroj společnosti Google využívající mapové 3D podklady Google Earth a další zdroje Google pro určení výrobního potenciálu fotovoltaických střech domů. Tato aplikace byla nejprve spuštěna na území Spojených států amerických v roce 2015 na území města Boston, Massachusetts, San Francisco, Fresno a Kalifornie. V průběhu dalších měsíců byly do databáze přidávány další metropolitní oblasti a jednotlivé státy USA. Tento nástroj měl velký dopad na trh se střešními fotovoltaickými systémy a slouží jako užitečná pomůcka pro investory do malých střešních fotovoltaických elektráren [17].

V roce 2017 došlo ke spuštění tohoto nástroje také pro evropské země, z nichž první se stalo Německo (evropský leader ve využívání FVE). Následujícího roku byla tato služba zpřístupněna i pro obyvatele Velké Británie. Hlavním partnerem umožňujícím vznik této aplikace na území Evropy je společnost E.ON. Přestože tento nástroj umožňující odhad výroby střešních FVE nebyl na území ČR ještě spuštěn, tak na oficiálních stránkách distributora E.ON lze dohledat podobný nástroj vycházející z mapových podkladů, ovšem s velmi omezenou přesností. Jelikož společnost E.ON působí na území ČR, lze v budoucnu předpokládat spuštění projektu Sunroof i na našem území. Příklad rozhraní Google Project Sunroof je zobrazen na Obr. 3-14 [14].

Po vyhledání adresy v uživatelském prostředí nástroje Sunroof systém na základě mapových podkladů vypočítá plochu střechy využitelnou na umístění fotovoltaických panelů. Pro výpočet potenciální produkce FVE je nejprve počítána maximální teoretická výroba vycházející z radiačních map. Tato hodnota je následně upravena dalšími faktory, jako je sklon střechy, orientace vůči světovým stranám. Systém je dokonce schopen uvažovat i zastínění okolními domy či stromy. Z počátku se tato kalkulační metoda potýkala s velkými nepřesnostmi, a proto tento výpočetní model obsahuje i prvky strojového učení zpřesňující výslednou hodnotu výroby a rentabilitu střešní FVE [17].

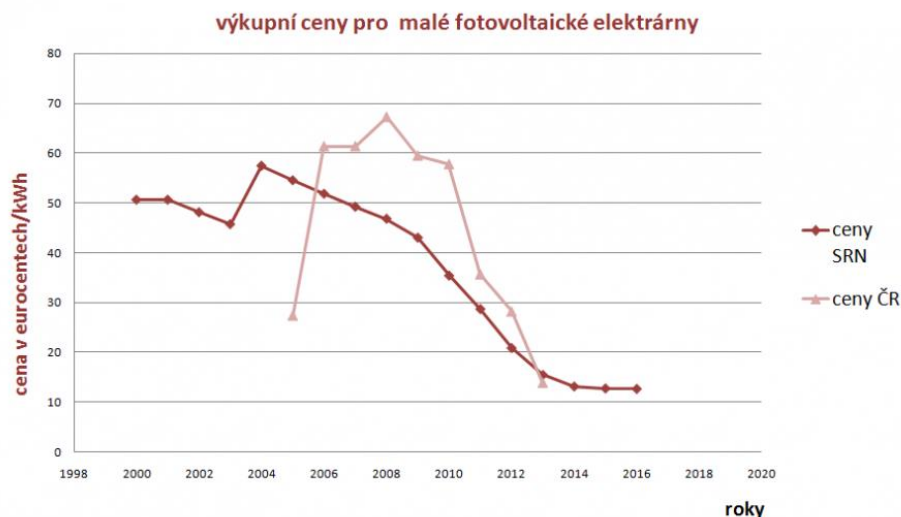
Výše zmíněný nástroj však není jediný svého druhu. Podobnou službu také nabízí společnost IKEA ve spolupráci se společností Solarcentury. Vlastí kalkulačkou disponuje i společnost Tesla [14].



Obr. 3-14 Příklad rozhraní Google Project Sunroof [31]

4 ZHODNOCENÍ STŘEŠNÍCH FV SYSTÉMŮ

V posledních několika letech proběhl strmý nárůst počtu fotovoltaických instalací především díky dotačním programům a vysoké výkupní ceně elektrické energie z těchto instalací. Vývoj výkupních cen z malých FVE v rozmezí let 2000 až 2016 zobrazuje Obr. 4-1. V grafu můžeme sledovat závislost na německém trhu. Následující kapitola shrnuje potenciál střešních FVE v České republice (dále ČR) vycházejících ze studie ENACO. Zároveň je hodnocen současný stav střešní fotovoltaiky spolu s výzvami, kterým provoz FVE čelí.



Obr. 4-1 Vývoj výkupních cen pro malé FVE. V ČR a Německu [30]

4.1 Potenciální produkce střešních FVE v ČR

V říjnu roku 2015 byla zpracována veřejně dostupná studie *Potenciál solární energetiky v České republice* zpracovaná společností ENACO Energy consulting pro Českou fotovoltaickou a průmyslovou asociaci. V následující kapitole uvedu krátký výtah z části zabývající se potenciálem střešních FVE v segmentu rodinných a bytových domů [19].

Oproti předešlé analýze ENA z roku 2012 je uvazováno využití střech rodinných a bytových mnohopodlažních domů. Použitá data vychází z databáze Domovního fondu ČSÚ. Pro výpočet bylo použito 1 798 318 obydlených domů s byty z celkových 2 158 119 rodinných a bytových domů (rok 2011). Celková plocha domů s obydlenými byty činí 315 473 758 m². Tato plocha představuje plochu všech podlaží. Následně byla stanovena průměrná podlažnost na 1,95. Celková půdorysná plocha rodinných a bytových domů byla tedy aproximována na konečných 161 460 142 m² [19].

Předchozí studie uvažovaly střechy orientované pouze na JV – JZ. V této studii jsou do výpočtu technického potenciálu zahrnuty i části střech s neideální orientací, jelikož představují další navýšení potenciálu produkce. V rámci modelového případu byl zvolen dům o půdorysné ploše 100 m² s různým typem střech, které jsou v této práci popsány v kapitole 3.4. Pro výpočet byl používán panel o jmenovitém výkonu 250 Wp o rozměrech 1,650 m x 0,992 m. Experimentálním ověření simulacemi bylo zjištěno, že v závislosti na tvarování střechy lze na daný objekt instalovat 18 až 24 FV panelů. Průměrný počet FV panelů byl stanoven na 20 kusů zabírajících 33 m² a majících celkový výkon do cca 5 kW. Pro tuto studii je dále předpokládáno, že využitelná střešní plocha je přibližně třetinová. Stejný předpoklad je použit v rámci projektu

RESTEP. Celková využitelná plocha rodinných a bytových domů byla stanovena na 53 820 047 m² [19].

Určená plocha představuje maximální technický potenciál rodinných a bytových domů. Ovšem musí být bráno v potaz, že tato hodnota nezohledňuje další dílčí faktory, které dále využití střechy snižují. Takovými faktory může být například stínění okolními objekty či vegetací. Jedním z faktorů může být i nižší nosnost střechy a mnoho dalších. Jelikož o této problematice není dostatečné množství statistických dat, byl tedy v rámci studie přistoupeno k vlastnímu odhadu. Zpracovatelem studie je předpokládáno, že přibližně 55 % střech rodinných a bytových domů je vhodných pro instalaci FV panelů [19].

„Na základě výše uvedených předpokladů byla reálná celková střešní plocha rodinných a bytových domů vhodná pro instalaci FV panelů stanovena na 29 601 026 m².“ [19]

Dle postupů používaných ve studii byla určena plocha panelů na jednotku výkonu 6,55 m²/kWp (pro panel 250 Wp o rozměrech 1,650 m x 0,992 m). Celkový potenciál instalovaného výkonu na rodinných a bytových domech v České republice činí 4 521 MW [19].

4.2 Současná situace v České republice

V České republice je v posledních letech o malé fotovoltaické střešní elektrárny rodinných domů rostoucí zájem. Rozvoji pomáhají především dotační programy a změna energetického zákona. Od roku 2017 byla omezena administrativa pro malé fotovoltaické elektrárny s instalovaným výkonem do 10 kWp. Majitelé těchto malých elektráren již nepotřebují licenci. V rámci dotačního programu Nová zelená úsporám, který je v platnosti od 22. října 2015 do roku 2021 (nebo do vyčerpání prostředků), může žadatel po splnění podmínek pro udělení dotace získat státní podporu od 40 000 do 155 000 Kč. Dotace jsou zaměřeny na solární elektrárny na rodinných domech a můžou pokrýt maximálně 50 % investičních nákladů. Solární panely dále musí dosahovat účinnosti minimálně 15 % [43].

Divize ČEZ Solární v roce 2017 nainstalovala a připojila do sítě celkem 307 střešních fotovoltaických elektráren o celkovém instalovaném výkonu 1236 kWp. Oproti roku 2016 se pro ČEZ jednalo o více než dvojnásobný roční nárůst provedených instalací střešních FVE. Přičemž dotaci na instalaci v rámci dotačního programu Nová zelená úsporám využilo 285 investorů. Nejvíce střešních FVE instalovaných společnostmi ČEZ bylo v roce 2017 ve Středočeském kraji včetně Prahy v celkovém počtu 86, dále pak v kraji Ústeckém 76 a Moravskoslezském 61 [52].

Během roku 2017 zároveň provedla velký počet instalací střešních FVE i rostoucí společnost S-Power s celkovým počtem 417 instalovaných systémů [52].

V rámci dotačního programu Nová zelená úsporám bylo na území České republiky k 8.10.2018 vyplaceno celkem 2305 žádostí o dotaci na střešní fotovoltaiku. Doposud stále největší zájem o střešní fotovoltaické systémy bez možnosti akumulace elektrické energie. Tento stav může být zapříčiněn zejména s nižšími náklady na počáteční investici, přestože využití akumulčních baterií je z hlediska výnosnosti celého systému výhodnější. Dotace na FVE pro výrobu el. energie bez akumulace bylo využito celkem u 1039 objektů (od 1. 1. 2018 do 8. 10. 2018 byla dotace udělena na celkem 565 realizací). Dotace na FVE pro výrobu elektřiny s akumulací bylo využito celkem u 923 objektů (od 1. 1. 2018 do 8. 10. 2018 byla dotace udělena na celkem 519 realizací). O fotovoltaické systémy s využitím pro přípravu teplé vody s přímým ohřevem je v ČR poměrně

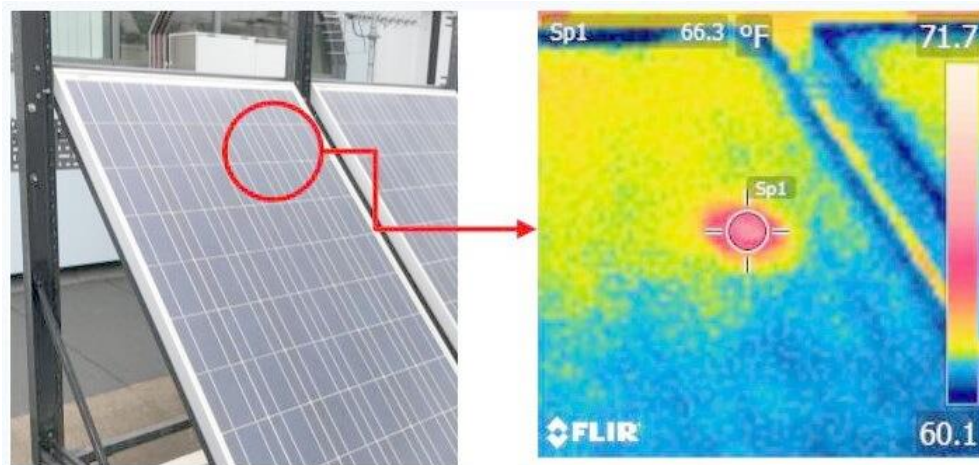
malý zájem. Celkem bylo na realizaci proplaceno 343 žádostí (112 v časovém období 1. 1. - 8. 10. 2018). Celková výše udělených dotací se doposud vyšplhala až na 177 962 043 Kč [11].

Během roku 2018 došlo celkem k instalaci přibližně 2 200 střešních FVE u rodinných domů. Společnost ČEZ Distribuce provedla u 64 % instalací spolu s bateriovým úložištěm. Pro rok 2019 se očekává v rámci České republiky okolo 5 000 nových střešních instalací při 90% podílu umístění bateriového úložiště spolupracujícího se střešní FVE [21].

4.3 Poruchy FV systémů

Provoz fotovoltaické elektrárny není až tak jednoduchý a v průběhu času dochází k poruchám a odchylkám od normálu. Celkově mají tyto poruchy vliv na výrobu el. energie a zároveň mohou snižovat životnost elektrárny a prodlužovat návratnost investice [33].

Dle studie TÜV je polovina poruch na velkých solárních elektrárnách s instalovaným výkonem nad 1 MWp způsobena chybami při instalaci [33]. Neblahý vliv na fotovoltaický panel má samotné zastínění, které kromě snížení výroby el. energie může mít za následek vznik horkých míst (hot spot). Pokud je fotovoltaický článek zastíněn, tak se výrazně snižuje tekoucí proud. Pokud jsou FV články zapojeny v sérii, pak je celkový dodávaný proud roven nejméně osvětlenému článku. Okolní články však dále produkují elektrickou energii, která je v zastíněném článku přeměněna na teplo a článek se dále zahřívá. V krajním případě může dojít k jeho přehřátí a nevratnému poškození [16]. Na základě měření je odhadováno, že v některých oblastech Spojeného království snižují horká místa na panelech výrobu el. energie až o 25 % [45]. Horké místo může být detekováno při diagnostice panelu termokamerou. Diagnostiku FV panelu zobrazuje Obr. 4-2.



Obr. 4-2 Horká místa na FV panelu [45]

Dalším typickým problémem u fotovoltaických instalací je poddimenzovaná kabeláž a použití oxidujících materiálů. Problém představuje i samotná vlhkost a kondenzující voda, která působí na součástky. Zkorodovaná izolace může způsobit zkrat a následně i požár. Problém týkající se především velkých FVE je špatně položená kabeláž. U některých instalací docházelo k uložení datových kabelů spolu se silovými. To vede k rušení datových toků. Zároveň mohly být kabely vystaveny podmínkám, pro které nebyly určeny. Hlavním prvkem celé fotovoltaické elektrárny je střídač, jehož kvalita má vliv na provoz celé elektrárny [33].

5 VÝPOČET PRODUKCE STATICKÝCH FV SYSTÉMŮ

Produkce elektrické energie fotovoltaickými elektrárnami může být stanovena více či méně zjednodušeným způsobem. Pro výpočet je obvykle používána měsíční bilanční metoda. Tato metoda umožňuje do výpočtu zahrnout vliv teploty a slunečního ozáření spolu s technickou specifikací daného fotovoltaického modulu [53].

Pro porovnání jednotlivých technologií a celkové produkce elektrické energie je nutné najít kompromis mezi jednoduchostí výpočtu a zohlednění technických parametrů použitých prvků, jelikož se v praxi ne vždy využívá počítačových simulací. V České republice je vytvořen soubor norem pro energetické hodnocení budov, který obsahuje normu ČSN EN 15316-4-3 stanovující roční produkci elektrické energie pouze na základě špičkového výkonu bez uvažování reálných provozních vlivů pro konkrétní fotovoltaické moduly a s nimi souvisejícími prvky [53].

5.1 Postup podle normy ČSN EN 15316-4-3

V rámci této podkapitoly je uveden postup dle normy neuvažující systém s akumulací elektrické energie. Zároveň je v tomto textu značení použité v normě upraveno z důvodu sjednocení v rámci celého textu. Tato kapitola vychází ze zdroje [53] a [8].

Zisk elektrické energie dodané fotovoltaickým systémem $E_{FV,sys}$ [kWh/rok] (v normě značený jako $E_{el,pv,out}$) je stanoven rovnicí 5.1.

$$E_{PV,sys} = \frac{H_{T,rok} \cdot P_{pk} \cdot f_{perf}}{G_{ref}} \quad (5.1)$$

$H_{T,rok}$	roční dávka slunečního ozáření (E_{sol} v normě)	[kWh/m ² ·rok]
P_{pk}	špičkový výkon FV systému	[kW]
f_{perf}	činitel výkonnosti fotovoltaického systému	[-]
G_{ref}	referencí sluneční ozáření (I_{ref} v normě) rovné 1 kW/m ²	[kW/m ²]

Činitel výkonnosti fotovoltaického modulu f_{perf} závisí na druhu integrace na budovu. Dále zohledňuje skutečnou provozní teplotu fotovoltaických modulů. Pro nevětrané moduly je tato hodnota stanovena na 0,7. Mírně větrané moduly mají hodnotu koeficientu 0,75. Poslední tabulková hodnota 0,8 přísluší silně nebo nuceně větraným modulům.

Pokud hodnota P_{pk} [kW] není k dispozici, může být orientačně vypočtena dle vztahu 5.2.

$$P_{pk} = K_{pk} \cdot A_{FV} \quad (5.2)$$

K_{pk}	součinitel špičkového výkonu závisící na druhu technologie fotovoltaického modulu (u krystalických technologií se uvažuje minimální faktor zaplnění apertury články 80 %)	[kW/m ²]
A_{FV}	celková činná plocha všech fotovoltaických modulů (bez rámu), v normě označená jako A .	[m ²]

„Při bližším pohledu není součinitel špičkového výkonu ničím jiným než referenční účinností FV modulu.“ [53] Rozsah účinností jednotlivých technologií jsou pro orientační výpočet uvedeny v Tab. 5-1.

Tab. 5-1 Informativní hodnoty součinitele špičkového výkonu [53]

Druh fotovoltaického modulu	K_{pk} [kW/m ²]
Monokrystalický křemík	0,12 až 0,18
Polykrystalický křemík	0,1 až 0,16
Tenkovrstvý amorfni křemík	0,04 až 0,08
Ostatní tenkovrstvé	0,035
Tenkovrstvý CIGS (měď-indium-galium-diselenid)	0,105
Tenkovrstvý CdTe (kadmium-telurid)	0,095

5.2 Zjednodušená bilanční metoda

Bilanční metoda oproti postupu dle normy uvažuje s vlivem teploty a parametry konkrétního fotovoltaického modulu dodaného výrobcem. „Tato metoda nepracuje s voltampérovou charakteristikou jako podrobné matematické modely FV panelů. Pro výpočet se jako základní údaje využívají referenční účinnost modulů η_{ref} [%], instalovaný špičkový výkon P_{pk} [kW], případně činná plocha FV modulů A_{FV} [m²]. Pro zohlednění vlivu provozních podmínek na účinnost modulů je však nutné použít i další parametry ze specifikace výrobce, jako je teplotní výkonový součinitel γ [%/K], jmenovitá provozní teplota článku NOCT a pokles účinnosti s poklesem slunečního ozáření $\Delta\eta_G$ [%].“ [53]

V rámci bakalářských a diplomových prací bylo této metody využito například u práce popisující teplotní charakteristiky fotovoltaických panelů [25].

V předchozích kapitolách je popsána závislost účinnosti fotovoltaického článku na teplotě. Následující vztahy jsou převzaty ze zdroje [53]. S rostoucí teplotou účinnost fotovoltaického modulu klesá dle lineárního vztahu 5.3:

$$\eta_{FV,t} = \eta_{ref} \cdot \left(1 + \frac{\gamma}{100} \cdot (t_{FV} - t_{ref}) \right) \quad (5.3)$$

η_{ref}	referenční účinnost při normových zkušebních podmínkách (1000 W/m ² , 25 °C)	[%]
t_{FV}	teplota fotovoltaického článku	[°C]
t_{ref}	referenční teplota článku 25 °C	
γ	teplotní součinitel výkonu pro daný modul	[%/K]

Účinnost fotovoltaického modulu dále závisí na úrovni slunečního ozáření G . „S výjimkou tenkovrstvých (např. CdTe) modulů se účinnost FV modulů s klesajícím slunečním ozářením snižuje přibližně logaritmicky“ [53] Tuto závislost popisuje následující rovnice 5.4.

$$\eta_{FV,G} = \eta_{ref} \left(1 + k \cdot \ln \frac{G}{G_{ref}} \right) \quad (5.4)$$

η_{ref}	referenční účinnost při normových zkušebních podmínkách sluneční ozáření pro stanovení poklesu účinnosti, zpravidla	[%]
G	$G = 200 \text{ W/m}^2$	
G_{ref}	referenční ozáření $G_{ref} = 1000 \text{ W/m}^2$,	
k	součinitel pro daný modul	[-]

Celková účinnost modulu η_{FV} [%] se stanoví použitím korigovaných účinnosti z předchozích vztahů 5.3 a 5.4 dle rovnice:

$$\eta_{FV} = \frac{\eta_{FV,t} \cdot \eta_{FV,G}}{\eta_{ref}} \quad (5.5)$$

Bilanční výpočet je vhodný pro stanovení měsíční produkce elektrické energie. Při výpočtu bilanční metodou mohou být uvažovány i ztráty výkonu způsobené neideální orientací fotovoltaického panelu. Dále mohou být uvažovány i elektrické ztráty, jejichž hodnota je u DC vedení přibližně 2 %. Elektrické ztráty na AC vedení mají hodnotu přibližně 1 %.

$$E_{FV,sys} = k_{or} \cdot \frac{\eta_{FV}}{100} \cdot H_{T,měs} \cdot A_{FV} \cdot \left(1 - \frac{p}{100}\right) \quad (5.6)$$

$H_{T,měs}$	měsíční dávka slunečního ozáření	[kWh/m ² ·měs]
p	srážka vlivem elektrických ztrát	[%]
k_{or}	koeficient ztrát zohledňující orientaci panelu	[-]

Výpočet potenciální výroby je proveden postupně pro každý měsíc v roce. Sečtením těchto hodnot je získána očekávaná výroba za celý rok. Využití zjednodušené bilanční metody je při hodnocení výroby el. energie konkrétním fotovoltaickým panelem oproti postupu dle normy přesnější. Při využití této metody výpočtu má zároveň investor lepší přehled o teoretické výrobě v průběhu roku.

6 ENERGETICKÝ POTENCIÁL STŘEŠNÍCH FVE

V následující kapitule je navržena vlastní metodika výpočtu celkového energetického potenciálu střešních fotovoltaických elektráren v malé obci do 3 000 obyvatel. Předpokladem této bakalářské práce je sestavit jednoduchou v praxi aplikovatelnou metodiku výpočtu odhadu možné produkce střešních FVE, která může být použita na celou obec. V předchozí řešeršní části byly v kapitole 3 popsány vnější vlivy, které ovlivňují celkové množství vyrobené energie ze střešní fotovoltaické elektrárny. Vstupní data pro výpočet celkové produkce zahrnují intenzitu slunečního záření, vliv teploty a orientace fotovoltaických panelů. Navržená metodika je vhodná především pro malé obce, jelikož se v zástavbě předpokládá vysoký podíl rodinných domů bez výškových budov vrhajících do okolí dlouhé stíny.

Tato práce neuvažuje s limity týkajícími se maximálního možného instalovaného výkonu pro získání dotace v rámci programu Nová zelená. Na některých stavbách může být překonána dotovaná hranice instalovaného výkonu. Není řešena rentabilita a další ekonomické faktory ovlivňující výhodnost instalace. Dále nejsou uvažovány vlivy na distribuční síť při zapojení velkého množství malých fotovoltaických elektráren. Je stanovován technický potenciál, tedy maximální možný.

6.1 Výběr obce

Praktická část bakalářské práce zpracovává odhad potenciální produkce střešní fotovoltaiky v obci Moravy u Brna zobrazenou na *Obr. 6-1*. Obec Moravy se nachází v okrese Brno-venkov v Jihomoravském kraji přibližně 6 kilometrů jihozápadně od Brna. V obci žije dle ČSÚ k 1. 1. 2018 2 937 obyvatel [49], [23]. Zástavbu v obci tvoří převážně rodinné domy se sedlovou střechou [22].



Obr. 6-1 Obec Moravy u Brna [22]

Pro výběr vzorové obce bylo uvažováno několik hlavních kritérií. Prvním z nich je intenzita slunečního záření v dané oblasti, jelikož tento faktor je klíčový při umísťování fotovoltaické elektrárny. Pro vymezení potenciálně uvažované oblasti byly vybrány veřejně dostupné sluneční mapy ČR zpracované společností Solargis [38]. Ze slunečních map fotovoltaického potenciálu byla jako vhodná oblast vybrána jižní Morava. Sluneční mapy společnosti Solargis byly kromě veřejné dostupnosti vybrány z důvodu, že obsahují průměrné hodnoty ozáření v rozmezí let 1994 až 2016. Během této doby bylo nasbíráno spousta statistických dat. Modely map vycházejí ze satelitního měření, které pokrývá 99 % povrchu naší planety. Nepokryté plochy jsou dopočítány pomocí algoritmu [36].

Pro účely práce byla hledána obec s vysokým zastoupením novostaveb a vysokým odhadovaným potenciálem pro střešní fotovoltaiku. Dalším faktorem, který byl zvážen byla dostupnost velkého města, jelikož je práce zaměřena především na rezidenční charakter zástavby. Zároveň je taková obec i dobře dostupná pomocí regionální dopravy. Po zohlednění tohoto faktoru bylo vyvozeno, že vhodná obec by měla být satelitem města Brna. Na základě mapových podkladů webu mapy.cz byly jako vzorová obec stanoveny Moravany u Brna.

6.2 Současný stav střešních FVE v obci

Moravany mají jakožto rychle se rozvíjející obec velké množství novostaveb, tedy velký potenciál pro nadprůměrný výskyt střešních fotovoltaických instalací. Tento předpoklad byl ověřen z leteckého snímkování. V době zpracování bakalářské práce bylo k dispozici nejnovější letecké snímkování obce Moravany u Brna z 7. 5. 2018. Celkem bylo zaznamenáno více jak 40 rodinných domů osazených fotovoltaickými panely. Většina domů osazených malou střešní fotovoltaickou elektrárnou využívá jižně orientovanou část střechy pro dosažení maximálního výkonu. Příklady současných střešních FV instalací zobrazuje *Obr. 6-2*. V případě instalací na plochých střechách bylo využíváno přídatných konstrukcí pro dosažení optimálního sklonu a orientace. Přídatných konstrukcí bylo v některých případech využíváno i na sedlových střechách. Vzhledem k rostoucí poptávce po střešních instalacích a dalšímu rozvoji obce v uplynulých 4 letech lze předpokládat další nárůst počtu instalací [22].



Obr. 6-2 Příklady střešní FV instalace v obci [22]

6.3 Vybraný fotovoltaický panel

V rámci přípravy do praktické části byl proveden průzkum českého trhu s fotovoltaickými panely. Jako výstup vlastní analýzy byl pro využití v rámci bakalářské práce vybrán panel PM060W4/PM060B4.

Jedná se o panel o výkonu 320 – 330 Wp. Rozměry panelu jsou 1696 x 1022 mm [3]. Tento panel byl vybrán, jelikož se jedná o nejnovější řadu monokrystalických fotovoltaickým modulu značky AUO (dříve BenQ). Panel je standardního 60 buňkového designu. Celková jeho účinnost se pohybuje okolo 19 % v závislosti na okolních podmínkách. Tyto panely jsou na území České republiky distribuované společností Solsol s.r.o., která v minulých letech dosáhla více než 25 % podílu na českém trhu s fotovoltaickými panely. Dalším důvodem výběru tohoto panelu je, že výrobní závod společnosti AUO se nachází na území města Brna. Tento typ panelu zde je vyráběn od druhého kvartálu roku 2019 (tedy v době zpracovávání bakalářské práce). Tento panel je na trhu dostupný od října 2018 [41]. Ačkoli český distributor na svých stránkách neuvádí cenu za kus, tak cena byla dohledána na zahraničních webech, kde se pohybuje pod hranicí 200 euro za kus v závislosti na počtu objednaných panelů [4]. Na Obr. 6-3 je znázorněn design panelu v bílé a celočerné variantě.



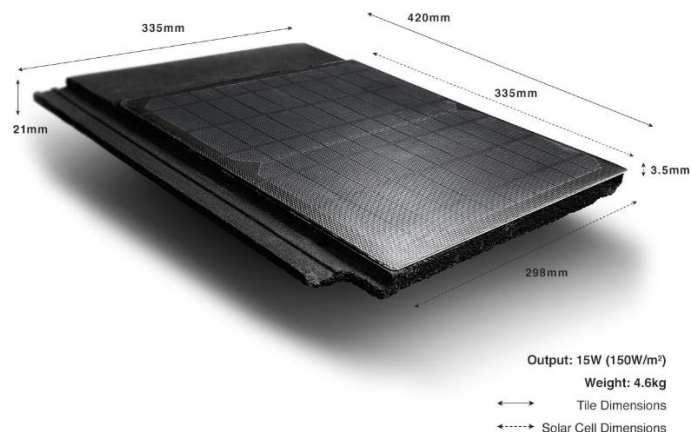
Obr. 6-3 FV panel AUO PM060W4/PM060B4 [2]

6.4 Vybrané fotovoltaické tašky

V rámci bakalářské práce je kromě využití FV panelů uvažováno i užití FV tašek. Jelikož jsou FV tašky poměrně novou technologií není v současné době příliš mnoho dat z již provedených instalací. Právě nedostatek dat byl hlavní důvod nevyužití nejvíce medializovaných FV tašek společnosti Tesla. Závěrem provedeného průzkumu trhu byl výběr FV tašek Soleccosolar [42].

Jedná se o anglického výrobce zaměřujícího se především na FV tašky navržené pro přirozené splnutí s původní stavbou. Vybraná taška má rozměry 420 x 335 x 21 mm a disponuje výkonem 15 Wp (150 W/m²). V rámci střešních instalací tyto tašky mohou být velice konkurenceschopné běžným FV panelům. Nabízí se srovnání s výše uvedeným FV panelem, který maximálně dodává

188 W/m². Z důvodu vyššího předpokladu využití střešní plochy, tak může využití FV tašek vést k vyššímu celkovému FV potenciálu střechy. Vybraná FV taška je zobrazena na Obr. 6-4 [42].



Obr. 6-4 FV taška Soleccosolar [42]

6.5 Metodika výpočtu

Hlavním předpokladem pro vytvoření metodiky aplikovatelné na celou vesnici je základem jednoduché a snadno aplikovatelný postup. V minulosti již proběhly celorepublikové odhady potenciálu střešní fotovoltaiky vycházející ze statistických dat. Problematikou odhadu potenciální produkce střešních FVE zabývá například literatura [19] viz kapitola 6.12.1. Dále pak tuto problematiku řeší literatura [6]. Tyto studie zanedbávají lokální faktory ovlivňující fotovoltaický potenciál a zároveň spíše nastiňují rozmezí, ve kterém se může reálná výroba pohybovat. Tyto metody jsou vhodnější pro implementaci na celostátní nebo krajské úrovni.

Pro odhad fotovoltaického potenciálu jednotlivých obcí je vhodné vycházet z lokálních dat. Nabízí se tedy využití mapových podkladů či lidarů. Díky rozšířeným vstupním datům může být odhad zpřesněn. FV potenciál závisí na mnoha faktorech. Těmi může být rozuměna například orientace cest (z toho vycházející orientace střech domů svažujících se k ulici), typ zástavby (rodinné domy, řadová zástavba, bytové domy, komerční objekty, průmyslové haly), typ střechy (rovná, sedlová, sedlová s vikýři, atypická) a orientace střech. Výše uvedené faktory uvažuje navrhovaná metoda.

Pro vytvoření následující metodiky byly užity mapové podklady ikatastr.cz [50] spolu s mapami fotovoltaického potenciálu SOLARGIS [38]. Celkový průměrný roční fotovoltaický potenciál z let 1994 až 2016 je dle map SOLARGIS 1075 kWh/kWp. Tato hodnota je ve vzorci zastoupena koeficientem $P_{po/r}$.

Katastrální mapy obsahují plochu půdorysu v m² u každé budovy. Ve vzorci je tato hodnota zastoupena S_o . Tato hodnota je pak dále rozšířena o typizaci střechy T_{st} . Tento koeficient navyšuje plochu půdorysu o reálnou plochu, kterou zabírá střecha. Pro rovné střechy má tento koeficient hodnotu 1. Pro sedlové střechy byl tento koeficient stanoven na 1,5. Tato hodnota byla převzata ze studie [6]. Jedná se o odhad zahrnující jak sklon samotné střechy, tak i přesah štítu. Dalším koeficientem popisujícím typ střechy je koeficient využití střešní plochy K_v . Jeho hodnota je taktéž převzata z literatury [19] a [6] pro sedlové střechy. Pro jednoduché sedlové střechy je jeho hodnota 1/3. V ostatních případech (sedlové a valbové střechy s vikýři) bude stanovena individuálně pro každou střechu zvlášť na základě vlastního odhadu. Parametr S_p je plocha jednoho fotovoltaického panelu. V případě této bakalářské práce je tato hodnota 1,73 m².

P_{pk} je špičkový výkon fotovoltaického panelu. Pro výpočet obce je stanoven panel AUO se špičkovým výkonem 320 – 330 Wp. Tato hodnota je pro výpočet stanovena na 325 Wp. Pro výpočet je tato hodnota dosazena v kWp. Koeficient K_{tep} zahrnuje vliv teploty okolí a chlazení fotovoltaického panelu. Tento koeficient je stanoven dle literatury [53] na 0,8. Koeficientem 0,8 je počítáno u silně větraných modulů. Jedná se o hodnotu vycházející z normy ČSN EN 15316-4-3 [8]. Tento koeficient je v normě označován f_{perf} . Posledním zahrnutým koeficientem je K_{or} , který popisuje vliv natočení fotovoltaického panelu. Jeho hodnota je závislá na sklonu panelu a jeho orientaci ke světovým stranám. Tato hodnota bude stanovována zvlášť pro různě orientovanou část střechy domu. Kompletní rovnice 6.1 je spolu se všemi koeficienty popsána níže.

$$E_{FV/r} = \frac{S_o \cdot T_{st} \cdot K_v}{S_p} \cdot P_{pk} \cdot P_{po/r} \cdot K_{tep} \cdot K_{or} \quad (6.1)$$

$E_{FV/r}$	potenciální roční produkce elektrické energie	[kWh]
S_o	plocha půdorysu domu	[m ²]
T_{st}	typizace střechy	[-]
K_v	koeficient využití střechy	[-]
S_p	plocha zabíraná jedním panelem	[m ²]
P_p	instalovaný výkon	[kWp]
$P_{po/r}$	roční potenciál produkce el. energie z FVE	[kWh/kWp·rok]
K_{tep}	koeficient oteplení panelu	[-]
K_{or}	koeficient orientace panelu	[-]

V následujících kapitolách je navrhovaná metodika ověřena z hlediska odhadu využití střešní plochy. Zároveň je provedeno srovnání s podrobnými simulacemi a skutečnými měřeními střešními instalacemi.

6.6 Aplikace metodiky na střechy osazené fotovoltaickými panely

Na území obce převažuje zástavba rodinnými domy. Pro účely bakalářské práce budou stavby rozděleny dle typizace střechy na dvě základní skupiny. První z nich jsou domy s rovnou střechou, které stojí buď samostatně nebo v řadové zástavbě. Druhou skupinou jsou domy se sedlovou střechou. Domy se sedlovou střechou jdou dále děleny na klasické sedlové střechy, sedlové valbové střechy a sedlové střechy s vikýři. Vzorovému výpočtu každého typu střech se věnují následující podkapitoly.

6.6.1 Budovy s rovnou střechou

Vodorovné střechy jsou z hlediska využitelnosti plochy fotovoltaickou instalací velice výhodné. Oproti sedlovým střechám zpravidla neobsahují prvky jako jsou například vikýře či další konstrukce, které nezanedbatelně snižují využití střechy pro fotovoltaickou instalaci. Další výhodou těchto střech je, že zde může být využito přídatných střešních konstrukcí pro zvýšení účinnosti fotovoltaického panelu.

Pro ukázkou vzorového výpočtu byl vybrán dům nacházející se v obci Moravany. Jedná se o dům s rovnou střechou s půdorysnou plochou 133 m². Jak je z leteckého snímku zřejmé (viz Obr. 6-5), tak je dům orientovaný na jihovýchod.

Z důvodu údržby fotovoltaických panelů a snížení vlivu vzájemného stínění mezi panely na přídatných konstrukcích je odhadnuto rozmístění panelů v 6 řadách s mezerou přibližně 1 m. Po experimentálním ověření bylo stanoveno, že může být na střechu celkem nainstalováno odhadem 39 fotovoltaických panelů s celkovým špičkovým výkonem 12,675 kWp. Celková využitelná plocha střechy je 67,60 m². Koeficient využití rovné střechy K_v bude ve výpočtu u ostatních domů s rovnou střechou stanoven na 0,5.

Maximální odhadovaná roční výroba střešní FV instalace rodinného domu je stanovena dle zjednodušené metodiky uváděné v kapitole 6.5 následujícím způsobem rovnicí 6.2.

$$E_{FV/r} = \frac{133 \cdot 1 \cdot 0,5}{1,73} \cdot 0,325 \cdot 1075 \cdot 0,95 \cdot 0,8 = 10\,206,6 \text{ kWh/rok} \quad (6.2)$$



Obr. 6-5 Vzorový dům s rovnou střechou [15], [50]

6.6.2 Budovy se sedlovou střechou

Nejrozšířenějším typem rodinného domu jsou v obci domy se sedlovou střechou. Domy s takto typizovanou střechou se v obci vyskytují samostatně, tak i v řadové zástavbě. Pro vzorový výpočet byl vybrán dům o celkové zastavěné ploše 107 m² (Obr. 6-6).

U domů se sedlovou střechou je nutné uvažovat se zvýšenou plochou střechy vůči zastavěné ploše. Toto zvýšení plochy je dáno koeficientem typizace střechy T_{st} . Pro všechny domy se sedlovou střechou bude uvažována hodnota tohoto koeficientu na 1,5 (převzato ze studie [6]). Jelikož se sklony střech a přesahy štítů vůči půdorysu u jednotlivých domů liší, dojde tedy ke statistické chybě. Koeficient K_{or} bude brát v úvahu natočení, tak i sklon střešního panelu. Panely na tomto typu střech budou instalovány rovnoběžně se střešní krytinou. Literatura [19] a [6] uvádí využitelnost plochy střechy u sedlových domů přibližně 1/3. Stanovení tohoto koeficientu bylo ověřeno a vysvětleno v rámci studie ENACO [19]. V této studii bylo všem uvažováno využití přídatných konstrukcí. V rámci této bakalářské práce není na střechy sedlového typu využití přídatných konstrukcí uvažováno. Tento přístup byl zvolen z důvodu minimálního užití podpůrných konstrukcí FV instalací na střechách rodinných domů. U sedlových střech bude uvažována snaha maximálního využití střešní plochy.

Po experimentálním ověření bylo vyvozeno, že na střechu rodinného domu lze umístit celkem 52 fotovoltaických panelů o instalovaném výkonu 16,9 kWp. Poměr plochy fotovoltaických panelů vůči zastavěné ploše rozšířené o 1,5 má hodnotu 0,56. Pro plošné výpočty bude u jednoduchých sedlových střech uvažován koeficient využití s maximální hodnotou 0,5 (může být zanesena statistická chyba). Hodnota koeficientu $K_v = 0,5$ je v práci považována za maximální možnou.

V případě dalších struktur vyskytujících se na střeše bude tato hodnota snížena individuálně pro každý dům.

Střecha vzorového rodinného domu je pro výpočet rodinného domu rozdělena na dvě části: jihovýchodní ($E_{jv_{FV/r}}$) a severozápadní ($E_{sz_{FV/r}}$).

Pro každou různě orientovanou část střechy provedeme výpočet zvlášť (rovnice 6.3 a 3.4). Celkový roční potenciál střešní instalace rodinného domu pak bude jejich součtem.

$$E_{jv_{FV/r}} = \frac{\frac{107}{2} \cdot 1,5 \cdot 0,5}{1,73} \cdot 0,325 \cdot 1075 \cdot 0,9 \cdot 0,8 = 5\,834,4 \text{ kWh/rok} \quad (6.3)$$

Při orientaci střechy na severozápad při sklonu přibližně 35° lze očekávat pokles výkonu přibližně o 35 % oproti ideální orientaci.

$$E_{sz_{FV/r}} = \frac{\frac{107}{2} \cdot 1,5 \cdot 0,5}{1,73} \cdot 0,325 \cdot 1075 \cdot 0,65 \cdot 0,8 = 4\,213,7 \text{ kWh/rok} \quad (6.4)$$

Celkový roční potenciál fotovoltaické instalace vzorového domu s jednoduchou sedlovou střechou je tedy 10 048,1 kWh/rok (viz rovnice 6.5).

$$E_{FV/r} = E_{jv_{FV/r}} + E_{sz_{FV/r}} = 5\,834,4 + 4\,213,7 = 10\,048,1 \text{ kWh/rok} \quad (6.5)$$

Maximální technický potenciál domu se sedlovou střechou vychází při 46 instalovaných panelech (46,39 před zaokrouhlením) 14,95 Wp.



Obr. 6-6 Vzorový dům se sedlovou střechou [22], [50]

6.6.3 Budovy se sedlovou valbovou střechou

Dalším typem střechy, který má mezi rodinnými domy četné zastoupení je sedlová valbová střecha. Na území obce Moravany převažují domy kombinující sedlovou valbovou střechu s vikýři, případně dalšími střešními prvky. Postup výpočtu je demonstrován na domu s půdorysem 202 m² s jednoduchou valbovou střechou (Obr. 6-7). Pro výpočet je nutné nejprve stanovit, jaký podíl střechy je orientován na danou světovou stranu. Hodnota koeficientu orientace je součet podílů částí střechy (orientovaných na danou světovou stranu) z celkové střešní plochy. Metodika pro výpočet odhadované roční výroby el. energie zjednodušuje stanovení orientace částí střechy (viz 6.6, 6.7, 6.8, 6.9). U vzorového domu je provedeno zjednodušení na jih, sever, východ a západ.

$$E_{j_{FV/r}} = \frac{(202 \cdot 0,3) \cdot 1,5 \cdot 0,3}{1,73} \cdot 0,325 \cdot 1075 \cdot 0,95 \cdot 0,8 = 4\,185,5 \text{ kWh/rok} \quad (6.6)$$

$$E_{s_{FV/r}} = \frac{(202 \cdot 0,3) \cdot 1,5 \cdot 0,3}{1,73} \cdot 0,325 \cdot 1075 \cdot 0,70 \cdot 0,8 = 3\,084,0 \text{ kWh/rok} \quad (6.7)$$

$$E_{v_{FV/r}} = \frac{(202 \cdot 0,2) \cdot 1,5 \cdot 0,3}{1,73} \cdot 0,325 \cdot 1075 \cdot 0,85 \cdot 0,8 = 2\,496,6 \text{ kWh/rok} \quad (6.8)$$

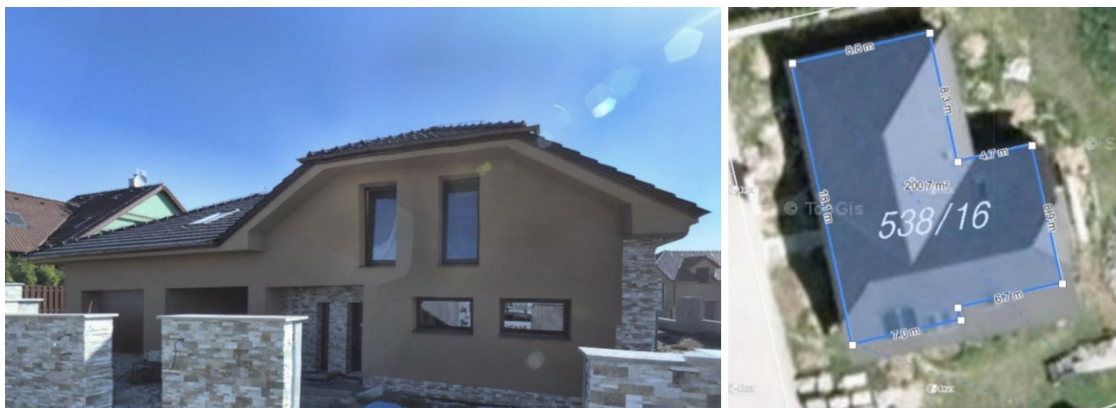
$$E_{z_{FV/r}} = \frac{(202 \cdot 0,2) \cdot 1,5 \cdot 0,3}{1,73} \cdot 0,325 \cdot 1075 \cdot 0,85 \cdot 0,8 = 2\,496,6 \text{ kWh/rok} \quad (6.9)$$

Celkovým ročním fotovoltaickým potenciálem střechy vzorového domu zobrazuje rovnice (6.10) a (6.11).

$$E_{FV/r} = E_{j_{FV/r}} + E_{s_{FV/r}} + E_{v_{FV/r}} + E_{z_{FV/r}} \quad (6.10)$$

$$E_{FV/r} = 4\,185,5 + 3\,084,0 + 2\,496,6 + 2\,496,6 = 12\,262,7 \text{ kWh/rok} \quad (6.11)$$

Z výpočtu je patrné, že nejvyšší výnosnosti dosahuje jižně orientovaná část střechy. Zvolený typový dům disponuje mírným sklonem severní střechy. To spolu s vyšší plochou severně orientovaných částí střechy způsobilo vysoký roční energetický výnos neideálně orientované části střechy.



Obr. 6-7 Vzorový dům se sedlovou valbovou střechou [15], [50]

6.6.4 Atypické budovy

V předchozích kapitolách byla zobrazena metodika výpočtu na nečlenitých typech střech. Těch je ovšem na území obce pouze malé množství. Velké množství domů má však střechy členité a různě orientované. Orientace střechy bude pro výpočet těchto domů rozdělena na severní, severovýchodní, východní, jihovýchodní, jižní, jihozápadní, západní a severozápadní.



U rodinných domů s rovnou střechou je častý výskyt více podlažních domů s jednou či více střešními terasami (*Obr. 6-8*). Celkový potenciál je u těchto budov mnohdy podstatně snížen. Pokud je z leteckých snímků vyloučen výskyt terasy u nižšího podlaží, přesto není vhodné toto místo pokrýt fotovoltaickými panely z důvodu zastínění. V metodice bude výpočet vždy uvažovat pouze plochu nejvyššího podlaží. Využitelná plocha pro atypické budovy je v metodice označena jako S_{atyp} .

Obr. 6-8 Atyp. dům s rovnou střechou [22]

Hlavním typem střech s výskytem atypických nesymetrických částí jsou sedlové střechy (zobrazeno na *Obr. 6-9*). U těchto střech je především častý výskyt vikýřů, které nejsou vzhledem k jejich velikosti vhodné k instalaci střešních panelů. Dále je nutné vzhledem k celkové členitosti střechy uvažovat další snížení procentuálního podílu využití střešní plochy. Některé domy tak mohou být zcela nevhodné pro dodatečnou instalaci fotovoltaických panelů. Užitá metodika stanovuje maximální technický, proto bude fotovoltaický potenciál stanoven i u takovýchto budov, přestože to nemusí být výhodné jak z hlediska energetického zisku.



Obr. 6-9 Atyp. dům se sedlovou střechou [22]

Z leteckých snímků obce lze sledovat opakující se typy domů nebo oblasti typových charakterů zástavby. Příkladem takových dalším typem domů, které lze považovat za atypické pro umístění fotovoltaiky, je historická řadová zástavba typická pro české a moravské obce znázorněná na *Obr. 6-10*. Tyto domy obsahují mnohdy přístavby do dvorů různých tvarů. Jelikož mnohdy nesou zakresleny do katastrálních map, tak nebudou v rámci bakalářské práce uvažovány a bude počítáno pouze s čelním domem.



Obr. 6-10 Zástavba se zastavěnými dvory [22]

6.7 Ověření metody

Ačkoli metodika vychází z normy je nutné provést její ověření vůči ostatním fotovoltaickým kalkulačkám a měřeným instalacím. V následující kapitole je demonstrován odhad využití střešní plochy vybraného domu a následné ověření rozsahu instalace vůči Project Sunroof. Dále je porovnávána navrhovaná metodika s odhady pro konkrétní malé střešní instalace. U měřených instalací je provedeno srovnání vlastního odhadu roční výroby s podrobnou simulací pro danou střešní instalaci spolu s reálnou roční výrobou.

6.7.1 Porovnání s Project Sunroof

Pro možné ověření reálnosti odhadovaného využití střešní plochy byl vybrán Project Sunroof od společnosti Google. Jedním z důvodů je dlouholetý rozvoj a průběžné vylepšování tohoto nástroje. Project Sunroof byl poprvé spuštěn na území USA a z toho důvodu je vzorový dům vybrán z této země.

Jako vzorový dům byl vybrán dům se sedlovou střechou s vikýřem nacházejícím se na adrese 1103 Beddards Crossing Dr, Grimesland, NC 27837, USA. Zastavěná plocha domu je dle mapového náhledu odhadnuta na 110 m². Pro následující stanovení potenciálního instalovaného výkonu střešní instalace bude využit FV panel 325 Wp o ploše 1,73 m². Uvažovaný dům je zobrazen na Obr. 6-11.

Vybraný dům má sedlovou střechu, proto plocha půdorysu rozšířena o 50 % (koeficientem 1,5). Ze satelitního snímku je patrné, že jihovýchodně orientovaná střecha má nejvyšší využitelnost z důvodu absence vikýřů a jiných střešních prvků. Tato část střechy zabírající přibližně polovinu půdorysu (rovnice 6.12 a 6.13) je přiřazen koeficient využití 0,5.

$$P_{jv_{inst}} = \frac{(110 \cdot 0,5) \cdot 1,5 \cdot 0,5}{1,73} \cdot 0,325 = 7,75 \text{ kWp} \quad (6.12)$$

Podíl severozápadní střechy na celkovém půdorysu je odhadnut na 0,3 s využitelností plochy pouze 30 % (ve vzorci 0,3).

$$P_{sz_{inst}} = \frac{(110 \cdot 0,3) \cdot 1,5 \cdot 0,3}{1,73} \cdot 0,325 = 2,79 \text{ kW} \quad (6.13)$$

Jelikož vikýř zabírá přibližně 20 % (2*10 %) půdorysu, tak se nabízí pokrytí jeho jihozápadně a severovýchodně orientované části (rovnice 6.14 a 6.15) Využitelnost plochy je stanovena na 30 % z důvodu zkosených stran.

$$P_{jz_{inst}} = \frac{(110 \cdot 0,1) \cdot 1,5 \cdot 0,3}{1,73} \cdot 0,325 = 0,93 \text{ kW} \quad (6.14)$$

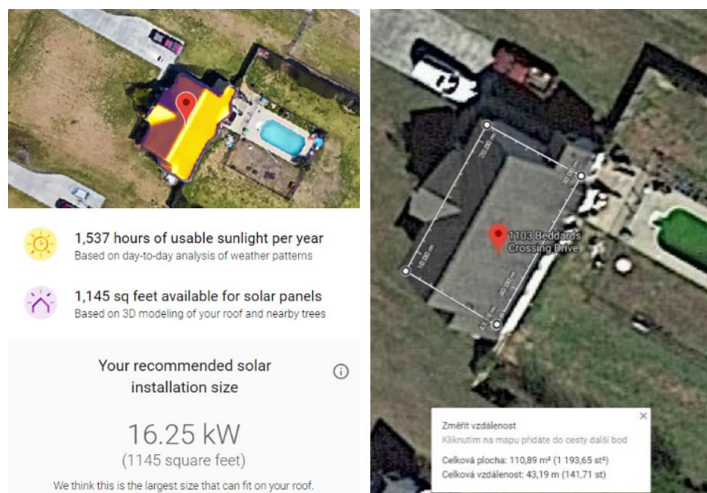
$$P_{sv_{inst}} = \frac{(110 \cdot 0,1) \cdot 1,5 \cdot 0,3}{1,73} \cdot 0,325 = 0,93 \text{ kW} \quad (6.15)$$

Odhad technického maxima instalovaného výkonu střešní instalace je součtem jednotlivých dílčích instalovaných výkonů (rovnice 6.16 a 6.17) pro různě orientované části střechy.

$$P_{inst} = P_{jv_{inst}} + P_{sz_{inst}} + P_{jz_{inst}} + P_{sv_{inst}} \quad (6.16)$$

$$P_{inst} = 7,75 + 2,79 + 0,93 + 0,93 = 12,4 \text{ kWp} \quad (6.17)$$

Dle navrhované metodiky je celkový instalovaný výkon střešní instalace 12,4 kWp. Maximální možná instalace dle Project Sunroof je odhadnuta na 16,25 kWp. Vyšší odhad potenciálu od googlu může být způsoben vyšším podílem využití střešní plochy fotovoltaickou instalací. Koeficienty užití v bakalářské práci jsou lehce sníženy oproti maximálnímu technickému maximu z důvodu variací střech.



Obr. 6-11 Porovnání využitelné plochy s Project Sunroof [32], [15]

6.7.2 Další FV kalkulačky

Kromě Projectu Sunroof jsou dostupné další podobné FV kalkulačky. Kalkulačku, nejvíce se blížící Projectu Sunroof dostupnou na území České republiky, nabízí společnost E.ON. Tato kalkulačka vychází jak z radiačních map, tak i z mapových podkladů. Při zadání adresy domu je námi požadovaný dům zobrazen a na půdorysu je vyznačena plocha vhodná pro pokrytí fotovoltaickými panely. Jelikož tento nástroj nepracuje s detailními 3D mapami, tak u testovaných domů dochází ke značnému podhodnocení možného instalovaného výkonu střešní instalace. Algoritmus není schopen rozlišit rovnou a sedlovou střechu a mnohdy dvěma zcela rozdílným domům v totožné oblasti doporučuje stejný rozsah instalace. [10].

Je nutné zmínit, že účelem aplikace není stanovit maximální technický potenciál střešní instalace. Tato aplikace slouží spíše jako pomocný nástroj při uvažování střešní instalace. Ukázka uživatelského rozhraní FV kalkulačky je na Obr. 6-12.



Obr. 6-12 FV kalkulačka e.on [10]

6.7.3 Porovnání s měřeným domem 1

Prvním dům, u něhož je provedeno porovnání metodik, se nachází na území obce Střelice jižně od Brna. Tento dům byl zpracován v rámci diplomové práce HODNOCENÍ PROVOZU MALÝCH FOTOVOLTAICKÝCH ELEKTRÁREN S PŘIPOJENÍM DO SÍTĚ NN [7]. Střešní fotovoltaická instalace je následujícího charakteru:

„Systém je tvořen 39 fotovoltaickými panely umístěnými na hliníkových profilech. Sklon střechy je 40° a je orientována na jih s azimutem 182°. Celkem je instalováno 30 monokrystalických fotovoltaických panelů Vitovolt 200 SC2 (Viessman) o výkonu 5,1 kWp (FVE 2) a 9 monokrystalických panelů SPV-180 Wp (Schüco) o výkonu 1,6 kWp (FVE 1).“ [7]

V rámci diplomové práce je provedena simulace roční výroby po jednotlivých měsících. Výsledkem je odhadovaná roční výroba 1 490 kWh (FVE 1) a 4749 kWh (FVE 2). Celková odhadovaná roční výroba celé instalace je tedy 6 239 kWh [7].

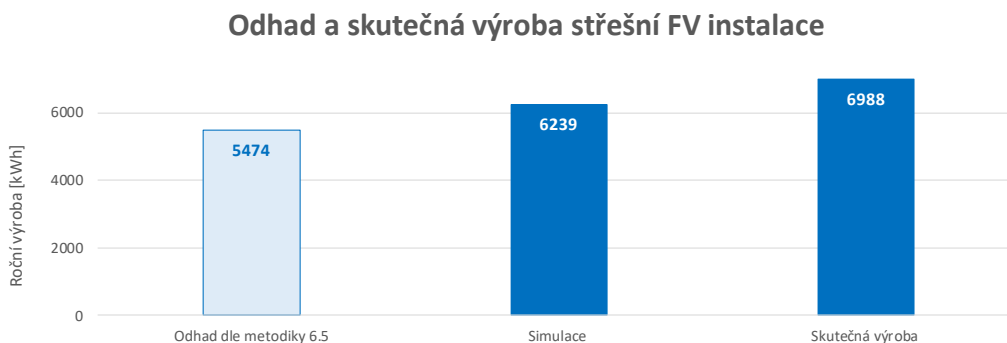
Dále bylo provedeno vlastní měření. *„Pro měření skutečné výroby energie z fotovoltaické elektrárny byl použit měřicí přístroj firmy EGÚ Brno, a. s. MDS 10. Tento přístroj umožňuje dlouhodobý monitoring v elektrických sítích. Měří efektivní hodnotu napětí, proudů a účinnky v itích nn, vn a vvn. Provádí minutový záznam maxim, minim a průměrných hodnot zadaných veličin.“ [7]* Roční výroba elektřiny pro FVE 1 byla 2 324 kWh, pro FVE 2 pak 4 664 kWh. Celková roční výroba střešní instalace dosáhla 6 988 kWh [7].

Dle navrhované zjednodušené metodiky by roční odhad výroby byl stanoven rovnicemi 6.18 a 6.19.

$$E_{FV/r} = (P_{FVE\ 1} + P_{FVE\ 2}) \cdot P_{po/r} \cdot K_{tep} \cdot K_{or} \quad (6.18)$$

$$E_{FV/r} = (1,6 + 5,1) \cdot 1075 \cdot 0,95 \cdot 0,8 = 5\,474\,kWh/r \quad (6.19)$$

Při porovnání vlastního odhadu s provedenou simulací a skutečnou výrobou lze říci, že vlastní odhad potenciální roční produkci podhodnotil přibližně o 20 %. To může být z důvodu, že koeficient zohledňující tepelné účinky okolí K_{tep} (0,8) nemusí odpovídat dané střešní instalaci. Porovnání odhadů se skutečnou roční výrobou zobrazuje Obr. 6-13.



Obr. 6-13 Porovnání odhadů a skutečné roční výroby FVE

6.7.4 Porovnání s měřeným domem 2

Pro druhé srovnání je vybrán dům zpracovaný v rámci bakalářské práce VYUŽITÍ FV SYSTÉMU PRO ZÁSOBNÍ RODINNÉHO DOMU ELEKTŘINOU [47]. Jedná se o jednopodlažní jednogenerační dům se sedlovou valbovou střechou nacházející se na předměstí Kladna. Zvolený dům je novostavbu osazenou 18 v práci uvažovanými fotovoltaickými panely o celkovém výkonu 3,24 kWp. Panely jsou orientované na jihozápad se sklonem 34°. Střešní FV Instalace zabírá 25,2 m². Jelikož bakalářská práce uvádí data o výrobě mezi lety 2009 až 2013, tak pro porovnání s vlastním odhadem je využita průměrná roční hodnota vyrobené elektřiny viz Tab. 6-1.

Tab. 6-1 Roční výroba střešní FV instalace domu [47]

Rok	Výroba [kWh]	Průměrná roční výroba [kWh]
2009	2877	2876,8
2010	2645	
2011	3069	
2012	3123	
2013	2670	

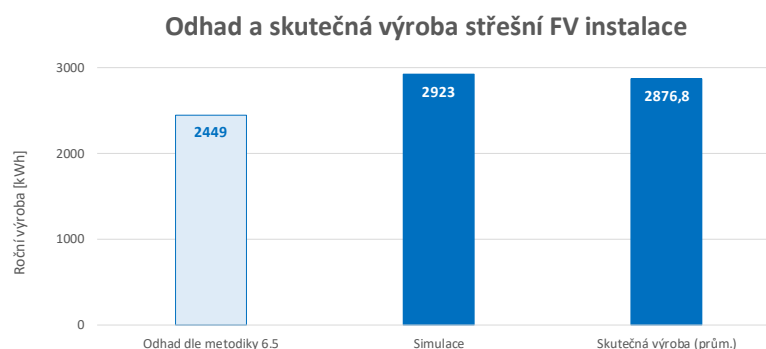
Uváděná bakalářská práce zároveň přichází s vlastní simulací očekávané výroby dané střešní instalace, která odhaduje očekávanou roční výrobu na 2 923 kWh. Jedná se o poměrně přesný odhad. Nevýhodou provedené simulace je její časová náročnost a potřeba specializovaného simulačního softwaru.

Navrhovaná metodika uvažuje řadu zjednodušení, které vedou ke snížené přesnosti očekávaného výkonu. Její aplikace je ovšem pro hrubý odhad výroby velice užitečná. Odhad roční odhad výroby navrhovanou metodikou je stanoven rovnicemi 6.20 a 6.21.

$$E_{FV/r} = P_{inst} \cdot P_{po/r} \cdot K_{tep} \cdot K_{or} \quad (6.20)$$

$$E_{FV/r} = 3,24 \cdot 1050 \cdot 0,9 \cdot 0,8 = 2\,449 \text{ kWh/r} \quad (6.21)$$

Očekávaná roční výroba je při využití zjednodušené metodiky stanovena na 2 449 kWh/r. Obr. 6-14 zobrazuje srovnání provedených simulací včetně skutečné roční výroby střešní instalace. Při bližším pohledu lze jasně říci, že u této instalace se podrobná simulace téměř rovná reálné průměrné pětileté roční výrobě. Ovšem zjednodušená metodika umožňuje odhad značně urychlit a zároveň má nízký požadavek na množství vstupních dat.



Obr. 6-14 Porovnání odhadů a průměrné roční výroby FVE

6.8 Plošná aplikace metody

Po ověření navrhované metodiky vůči projektu Sunroof a měřeným střešním FV instalacím je přistoupeno k plošné aplikaci metodiky na vybranou obec Moravany u Brna. Jako mapové podklady jsou použity mapy ikatastr.cz spolu s mapy.cz. Pro zpřesnění sklonu střech je přistoupeno k občasnému využití pohledu „panorama“ [22] pro získání bližších údajů o dané budově. Do odhadu FV potenciálu obce jsou zahrnuty části obce zobrazené na Obr. 6-15. Tyto oblasti obsahují přibližně 2/3 zastavěné plochy na katastrálním území obce. Zbývající 1/3 zastavěné plochy, která není zahrnuta do bakalářské práce tvoří rozsáhlé zahrádkářské kolonie na sever a jihozápad od obce.

Budovy, vyskytující se na zkoumaném území, jsou rozděleny dle typu na rodinné domy (RD) a jiné budovy. Jiné budovy zastupují především průmyslové haly vyskytující se na sever a východ od centra obce. Pod jiné stavby jsou dále zahrnuty například budovy areálů sportovišť, budovy obecní správy, stodoly, kostel (neuvažován pro FV instalaci) atd.



Obr. 6-15 Zpracovaná oblast obce [22]

V rámci této bakalářské práce je zpracováno 995 zastavěných parcel. Navrhovanou metodikou popsanou v kapitole 6.5. je zpracován každý dům nacházející se na uvažovaném území individuálně. Tato metodika je navržena, tak aby umožnila rychlé stanovení maximálního technického potenciálu střešní FV instalace domu a celkové roční výroby zároveň se zachováním požadované přesnosti. Čas nutný pro zpracování dílčích budov se v průběhu zpracovávání práce pohyboval v rozmezí 30 sekund (pro jednoduché stavby s rovnou střechou) do 5 minut u složitějších domů s atypicky tvarovanou sedlovou střechou.

Vstupními daty navrhované metodiky jsou mapy FV potenciálu ČR vycházející z radiačních map (udávaný v [kWh/kWp-rok]), půdorys domu [m²], typ střechy (rovná/sedlová), podíl orientací části střechy [-], využití jednotlivých orientací [-] a roční průměrná energetická

Plošná aplikace metodiky je demonstrována na fragmentu obce níže (*Obr. 6-17*). Demonstrativně zvolená část obce se nachází přibližně ve středu obce.



Ve vybrané části obce se nachází pouze rodinné domy. Zastavěná plocha jednotlivých domů je převzata z ikatastr.cz [50]. Údaj o zastavěné ploše je ve většině případů zachován. Ve vybraném fragmentu došlo ke korekci půdorysu pouze ve dvou případech. Obecně je ke korekci půdorysu domu přistupováno v případě výskytu architektonických prvků, které znemožňují aplikaci FV panelů na části domu. Odvození podílu různě orientovaných částí střechy v případě korekce S_{atyp} vychází z tohoto údaje (nikoli S_o).

Při známém půdorysu domu je následně provedena typizace střechy buď na rovnou nebo sedlovou střechu. Pro rovnou střechu je zachována hodnota půdorysu (koeficient rozšíření půdorysné plochy má hodnotu 1). V případě výskytu sedlové střechy je půdorysná plocha rozšířena koeficientem 1,5 z důvodu zvýšené využitelnosti střechy vlivem sklonu střechy a přesahem štítu.

U každého domu je přibližně stanovena orientace částí střechy podíl zastoupení této orientace. Při stanovení této orientace dochází ke značnému zjednodušení. Orientace částí střech je

rozdělena na S, SV, V, JV, J, JZ, Z a SZ. Ne všechny části střech jsou orientované způsobem, aby šlo jednoznačně zařadit orientaci do vytvořené tabulky. Tento případ může být demonstrován na vybraném fragmentu obce, kdy orientace jižních částí střech je na pomezí J a JV – pro zjednodušení zápisu bylo zvoleno rozdělení částí střech na S, J, V a Z. Podíl jednotlivých orientací částí střech je stanoven měřením z mapových podkladů, popřípadě pouze osobním odhadem. Pro rovné střechy byla stanovena orientace celé střechy na jih z důvodu očekávané instalace přídatných konstrukcí pro docílení ideální orientace a tedy i maximálního energetického zisku.

Pro jednotlivé orientace částí střechy je následně stanoveno možné maximální využití dané části střechy. Na základě vlastního měření využití dané části střechy domu bylo maximální využití částí střechy stanoveno na 50 %. Pro sedlové valbové střechy byl koeficient využití stanoven na 30 %. Jelikož se na velkém množství střech nachází atypických prvky jakými mohou být terasy, balkóny, vikýře, světlíky, komíny, atd. byl koeficient využití dané orientace v závislosti na charakteru dané stavby korigován (snížen) u některých staveb až na 0 % (pro FV instalaci zcela nevhodné) pro danou orientaci.

Posledním vstupním údajem pro zjištění energetické výnosnosti střešní FV instalace domu je zjištění roční účinnosti FV panelu v závislosti na sklonu a orientaci dané části střechy. Sklon dané části střechy je odhadnut na základě leteckých snímků či panorama na webu mapy.cz. Při známém sklonu při dané orientaci je následně přiřazen koeficient účinnosti.

Příkladem zápisu pro domy z vybraného fragmentu obce je Tab. 6-2. V tabulce jsou uvedeny údaje pro všech 9 domů nacházejících se ve vybraném fragmentu.

Tab. 6-2 Vstupní data pro výpočet výroby FV panelů

informace o domu					panel		podíl střechy								využití plochy K_p								účinnost při sklonu K_{or}							
parcela	Typ	S_0 [m ²]	S_{atyp} [m ²]	T_{st}	S_p [m ²]	P_{pk} [kWp]	S	SV	V	JV	J	JZ	Z	SZ	S	SV	V	JV	J	JZ	Z	SZ	S	SV	V	JV	J	JZ	Z	SZ
544/18	RD	224		1,5	1,73	0,325	0,25		0,25		0,25		0,25		0,3		0,3		0,3		0,3		0,6		0,8		0,95		0,8	
544/13	RD	388		1,5	1,73	0,325	0,25		0,25		0,25		0,25		0,3		0,3		0,3		0,3		0,6		0,8		0,95		0,8	
544/10	RD	123		1,5	1,73	0,325	0,3		0,2		0,3		0,2		0,5		0,3		0,3		0,3		0,6		0,8		0,95		0,8	
543/2	RD	95		1,5	1,73	0,325	0,3		0,2		0,3		0,2		0,5		0,3		0,3		0,3		0,6		0,8		0,95		0,8	
542/4	RD	129		1,5	1,73	0,325	0,5				0,5				0,5				0,5				0,6				0,95			
542/8	RD	383	350	1,0	1,73	0,325					1								0,5								0,95			
542/7	RD	71		1,0	1,73	0,325					1								0,5								0,95			
541/3	RD	124	101	1,5	1,73	0,325	0,35		0,2		0,25		0,2		0,5		0,3		0,3		0,3		0,5		0,8		0,95		0,8	
541/4	RD	86		1,5	1,73	0,325			0,5				0,5				0,4				0,4				0,8				0,8	
541/8	RD	91		1,5	1,73	0,325			0,5				0,5				0,4				0,4				0,8				0,8	

Kromě vstupních dat jsou pro porovnání uvedeny i údaje o odhadované využitelné střešní ploše domu, instalovaném výkonu a očekávaném ročním energetickém výnosu. Tyto údaje zobrazuje Tab. 6-3.

Tab. 6-3 Získaná data pro FV panely

informace o domu					panel		využitelná plocha [m ²]								instalovaný výkon [kWp]								roční energetický zisk [MWh]							
parcela	Typ	S_0 [m ²]	S_{atyp} [m ²]	T_{st}	S_p [m ²]	P_{pk} [kWp]	S	SV	V	JV	J	JZ	Z	SZ	S	SV	V	JV	J	JZ	Z	SZ	S	SV	V	JV	J	JZ	Z	SZ
544/18	RD	224		1,5	1,73	0,325	25,2		25,2		25,2		25,2		4,7		4,7		4,7		4,7		2,4		3,3		3,9		3,3	
544/13	RD	388		1,5	1,73	0,325	43,7		43,7		43,7		43,7		8,2		8,2		8,2		8,2		4,2		5,6		6,7		5,6	
544/10	RD	123		1,5	1,73	0,325	27,7		11,1		16,6		11,1		5,2		2,1		3,1		2,1		2,7		1,4		2,5		1,4	
543/2	RD	95		1,5	1,73	0,325	21,4		8,6		12,8		8,6		4,0		1,6		2,4		1,6		2,1		1,1		2,0		1,1	
542/4	RD	129		1,5	1,73	0,325	48,4				48,4				9,1				9,1				4,7				7,4			
542/8	RD	383	350	1,0	1,73	0,325					175,0								32,9								26,9			
542/7	RD	71		1,0	1,73	0,325					35,5								6,7								5,4			
541/3	RD	124	101	1,5	1,73	0,325	26,5		9,1		11,4		9,1		5,0		1,7		2,1		1,7		2,1		1,2		1,7		1,2	
541/4	RD	86		1,5	1,73	0,325			25,8				25,8				4,8				4,8				3,3				3,3	
541/8	RD	91		1,5	1,73	0,325			27,3				27,3				5,1				5,1				3,5				3,5	

Předmětem bakalářské práce je i srovnání celkové produkce obce při využití FV tašek na sedlové střechy rodinných domů (u rovných střech je při této modifikaci zachována instalace FV panelů). Následující Tab. 6-4 zobrazuje změnu ve vstupních datech při této modifikaci. Výhodou FV tašek je vyšší využití střešní plochy v případě atypického tvarování. Koeficient

využití střešní plochy v případě užití FV tašek je stanoven na 70 % (je ponechána rezerva 30 % na okraje střechy a další prvky zabírající malou část střechy jako je komín, okolí satelitního přijímače, vikýře a světlíky). U rovných střech je ponechán scénář uvažující FV panely.

Tab. 6-4 Vstupní data pro výpočet výroby FV tašek

informace o domu					panel/tašky			podíl střechy								využití plochy K_v								účinnost při sklonu K_{or}							
parcela	Typ	S_o [m ²]	S_{atyp} [m ²]	T_{st}	S_p [m ²]	P_{pk} [kWp]	S	SV	V	JV	J	JZ	Z	SZ	S	SV	V	JV	J	JZ	Z	SZ	S	SV	V	JV	J	JZ	Z	SZ	
544/18	RD	224		1,5	1,00	0,150	0,25		0,25		0,25		0,25		0,7		0,7		0,7		0,7		0,6		0,8		0,95		0,8		
544/13	RD	388		1,5	1,00	0,150	0,25		0,25		0,25		0,25		0,7		0,7		0,7		0,7		0,6		0,8		0,95		0,8		
544/10	RD	123		1,5	1,00	0,150	0,3		0,2		0,3		0,2		0,7		0,7		0,7		0,7		0,6		0,8		0,95		0,8		
543/2	RD	95		1,5	1,00	0,150	0,3		0,2		0,3		0,2		0,7		0,7		0,7		0,7		0,6		0,8		0,95		0,8		
542/4	RD	129		1,5	1,00	0,150	0,5				0,5				0,7				0,7		0,7		0,6				0,95				
542/8	RD	383	350	1,0	1,73	0,325					1								0,5								0,95				
542/7	RD	71		1,0	1,73	0,325					1								0,5								0,95				
541/3	RD	124	101	1,5	1,00	0,150	0,35		0,2		0,25		0,2		0,7		0,7		0,7		0,7		0,5		0,8		0,95		0,8		
541/4	RD	86		1,5	1,00	0,150			0,5				0,5				0,7				0,7				0,8				0,8		
541/8	RD	91		1,5	1,00	0,150			0,5				0,5				0,7				0,7				0,8				0,8		

Při porovnání využitelné střešní plochy dojde oproti scénáři uvažujícího pouze FV panely k výraznému nárůstu. Přestože FV tašky mají nižší energetickou výnosnost na m², tak při následujícím scénáři dojde ke zvýšení využitelné plochy – tedy i celkového instalovatelného výkonu. Získaná data jsou vypsána v Tab. 6-5.

Tab. 6-5 Získaná data pro FV tašky

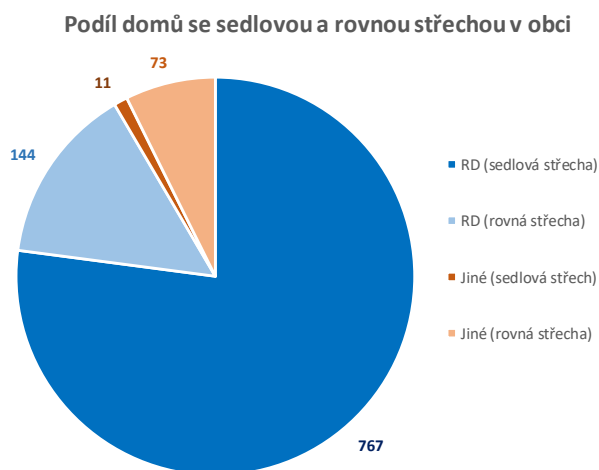
informace o domu				panel			využitelná plocha [m ²]								instalovaný výkon [kWp]								roční energetický zisk [MWh]							
parcela	Typ	S _o [m ²]	S _{atyp} [m ²]	T _{st}	S _p [m ²]	P _{pk} [kWp]	S	SV	V	JV	J	JZ	Z	SZ	S	SV	V	JV	J	JZ	Z	SZ	S	SV	V	JV	J	JZ	Z	SZ
544/18	RD	224		1,5	1,73	0,325	58,8		58,8		58,8		58,8		11,0		11,0		11,0		11,0		5,7		7,6		9,0		7,6	
544/13	RD	388		1,5	1,73	0,325	101,9		101,9		101,9		101,9		19,1		19,1		19,1		19,1		9,9		13,2		15,6		13,2	
544/10	RD	123		1,5	1,73	0,325	38,7		25,8		38,7		25,8		7,3		4,9		7,3		4,9		3,8		3,3		5,9		3,3	
543/2	RD	95		1,5	1,73	0,325	29,9		20,0		29,9		20,0		5,6		3,7		5,6		3,7		2,9		2,6		4,6		2,6	
542/4	RD	129		1,5	1,73	0,325	67,7				67,7				12,7				12,7				6,6				10,4			
542/8	RD	383	350	1,0	1,73	0,325					175,0								32,9								26,9			
542/7	RD	71		1,0	1,73	0,325					35,5								6,7								5,4			
541/3	RD	124	101	1,5	1,73	0,325	37,1		21,2		26,5		21,2		7,0		4,0		5,0		4,0		3,0		2,7		4,1		2,7	
541/4	RD	86		1,5	1,73	0,325			45,2				45,2				8,5				8,5				5,8				5,8	
541/8	RD	91		1,5	1,73	0,325			47,8				47,8				9,0				9,0				6,2				6,2	

Odhadovaný roční energetický výnos FV tašek vzrostl oproti FV panelům v některých případech téměř trojnásobně. FV tašky tak za vhodných podmínek mohou být zajímavou alternativou oproti FV panelům především z hlediska jejich multifunkcionality. Oproti FV panelům tvoří samotnou střešní krytinu. Přes větší počáteční investici, tak může jít o výhodnější variantu. I po skončení životnosti FV článku může být taška dále používána jako střešní krytina.

6.9 Charakter obce

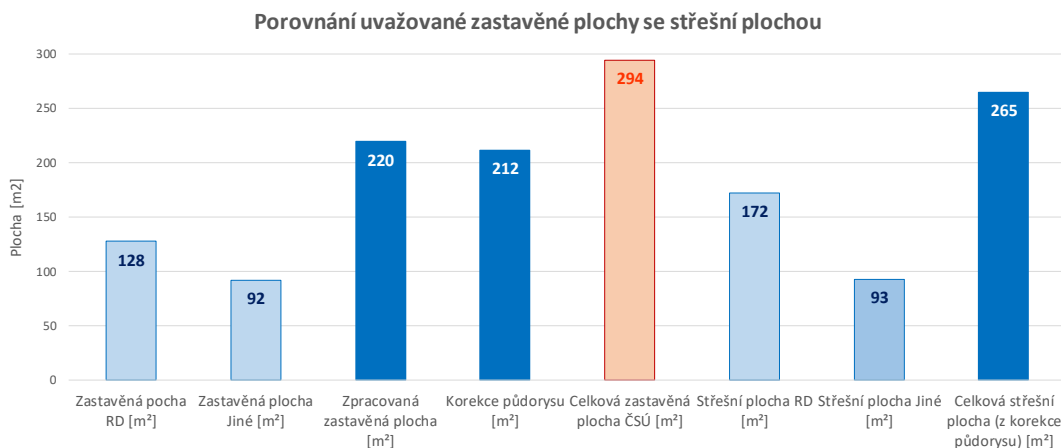
Aplikace navrhované metodiky na téměř každý dům nacházející se na katastrálním území obce umožnila nasbírat velké množství statistických dat. Zastoupení typů střech sumarizuje *Obr. 6-18*. Výsledky průzkumu, tak mohou být použity pro budoucí práce. V rámci práce je zpracováno 995 zastavěných parcel. Z toho 911 uvažovaných zastavěných parcel jsou rodinné domy (RD) a 84 uvažovaných parcel tvoří jiné budovy (Jiné). U nevhodných budov byl údaj o zastavěné ploše korigován na 0 m². Neuvažované plochy tvoří například garáže, stavby ve vnitroblocích, malé stavby na pozemcích rodinných domů a rozsáhlé zahrádkářské kolonie v okolí obce.

V obci se celkem nachází 778 budov se sedlovou střechou, jejichž půdorys byl rozšířen koeficientem 1,5. Budov s rovnou střechou (hodnota koeficientu rozšíření plochy je roven 1) je na území obce 217. Sedlové střechy jsou mezi RD zastoupeny 767 a rovné střechy s celkovým počtem 144. V obci je dále 11 sedlových střech a 73 rovných střech u jiných budov.



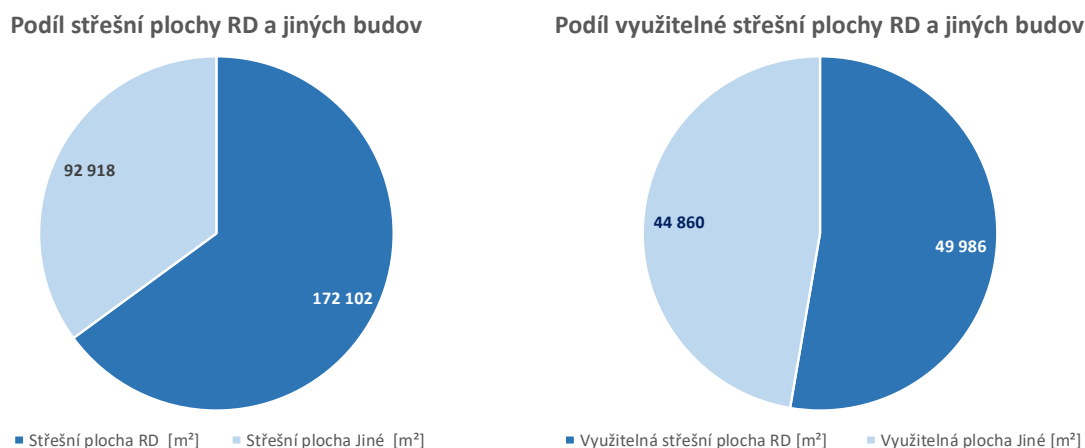
Obr. 6-18 Rozdělení domů dle typu střechy

Celkové zastavěné území obce včetně nádvoří pokrývá dle statistických dat z Českého statistického úřadu (ČSÚ) 294 300 m² [49]. Zpracovaný odhad uvažuje zastavěnou plochu 219 599 m². Plocha zastavěná rodinnými domy zaujímá 127 611 m². Jiné budovy zabírají 91 988 m². Užité zastavěné plochy byly po korekci upraveny na 211 637 m². Po rozšíření korigované plochy o sedlové střechy je celková plocha střech v obci 265 020 m². Z celkové střešní plochy zaujímají 172 102 m² RD a 92 918 m² jiné budovy. Údaje o zastavěné ploše srovnává *Obr. 6-19*.



Obr. 6-19 Porovnání zastavěné plochy a celkové střešní plochy

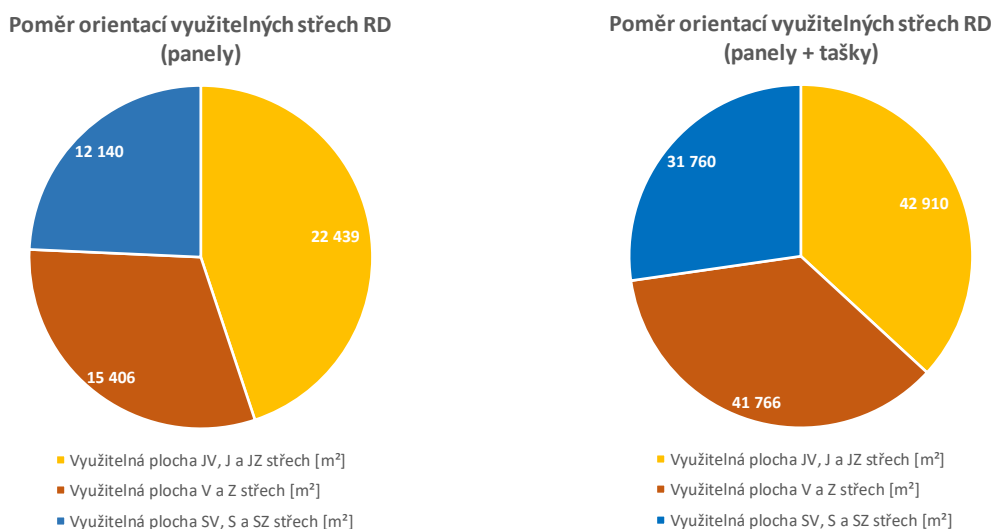
Na území uvažované obce dominuje zástavba rodinných domů. Přestože se celková střešní plocha může zdát být určujícím faktorem pro rozsah střešní FV instalace, tak musí být provedena korekce, která vede k získání využitelné střešní plochy. Následující Obr. 6-20 srovnává změny v poměru celkové střešní plochy a využitelné střešní plochy RD a jiných budov v dané obci. Snížení střešní plochy (využitelnost) byla provedena pro každý dům zvlášť.



Obr. 6-20 Porovnání celkové a využitelné střešní plochy

Zatímco střešní plocha RD je oproti jiným budovám výrazně vyšší, tak využití této střešní plochy je poměrně nízké. To je dáno z důvodu výskytu atypických střešních struktur jako jsou vikýře, střešní terasy atd. Na základě provedeného výzkumu je ve vybrané vesnici průměrná využitelnost střešní plochy u RD 29,0 %, přičemž u jiných budov je průměrná využitelnost střešní plochy 48,3 %. To je dáno z důvodu, že majoritní část jiných budov je na katastrálním území obce reprezentována výrobními halami s vysokým potenciálem pro umístění střešní FV instalace. Na celkovou využitelnou střešní plochu mají sedlové střechy u jiných budov minimální vliv z důvodu stopového výskytu ve sledovaném vzorku.

Pro energetický výnos je důležitá orientace jednotlivých střech. Obr. 6-21 zobrazuje poměr jednotlivých orientací střech RD pro scénář uvažující pokrytí střech FV panely a FV tašky. Rovným střechám je přiřazena jižní orientace z důvodu uvažování přídavných konstrukcí FV panelů umožňující jejich ideální natočení na jih.

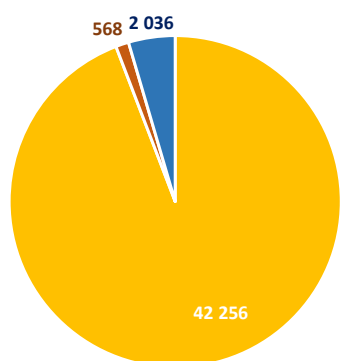


Obr. 6-21 Poměr orientace střech v závislosti na scénáři (RD)

Z výše uvedených grafů je zřejmé, že dané obci je rozložení orientací využitelných střech RD přibližně rovnoměrné.

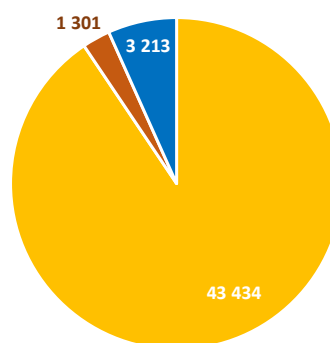
Jiné budovy v obci zastupují především průmyslové haly v okolí obce. Většina průmyslových hal disponuje rovnou střechou. Pro průmyslové haly s tímto typem střech je uvažováno s podpůrnými konstrukcemi umožňujícími ideální natočení FV panelů, a tedy i maximálním možným ročním energetickým ziskem. Uvažování scénáře využívajícího instalaci FV tašek má na zvýšení využitelnosti střech jen minimální vliv z důvodu malého zastoupení sedlových střech v průmyslových komplexech. Tuto závislost je vyobrazena na Obr. 6-22.

Poměr orientací využitelných střech Jiné (panely)



■ Využitelná plocha JV, J a JZ střech [m²]
 ■ Využitelná plocha V a Z střech [m²]
 ■ Využitelná plocha SV, S a SZ střech [m²]

Poměr orientací využitelných střech Jiné (panely + tašky)

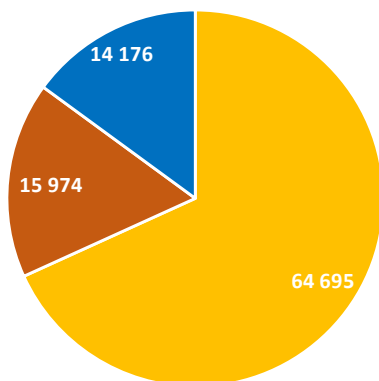


■ Využitelná plocha JV, J a JZ střech [m²]
 ■ Využitelná plocha V a Z střech [m²]
 ■ Využitelná plocha SV, S a SZ střech [m²]

Obr. 6-22 Poměr orientace střech v závislosti na scénáři (jiné budovy)

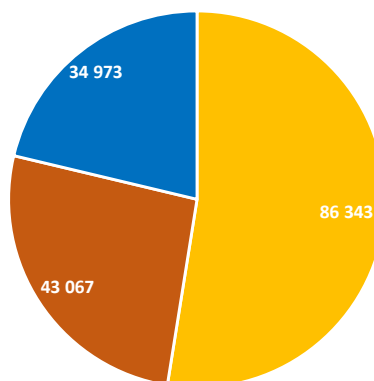
Při celkovém srovnání využitelné střešní plochy (Obr. 6-23) při využití pouze FV panelů je vidět silné zastoupení jiných budov z důvodu rozlehlé využitelné střešní plochy orientované na jih. Při uvažování scénáře doplněného o FV tašky na sedlových střechách dojde k nárůstu využití především severně, východně a západně orientovaných střech rodinných domů.

Poměr orientací využitelných střech FV (panely celkem)



■ Využitelná plocha JV, J a JZ střech [m²]
 ■ Využitelná plocha V a Z střech [m²]
 ■ Využitelná plocha SV, S a SZ střech [m²]

Poměr orientací využitelných střech FV (panely + tašky celkem)



■ Využitelná plocha JV, J a JZ střech [m²]
 ■ Využitelná plocha V a Z střech [m²]
 ■ Využitelná plocha SV, S a SZ střech [m²]

Obr. 6-23 Poměr orientace střech v závislosti na scénáři (celkem)

Obec Moravany u Brna byla pro účely bakalářské práce zvolena pro výhodnou strukturu obce a vysoký odhadový energetický výnos. Tento původní odhad byl potvrzen. Výhodnost obce pro užití fotovoltaiky může být definována v několika bodech.

Charakteristické znaky obce:

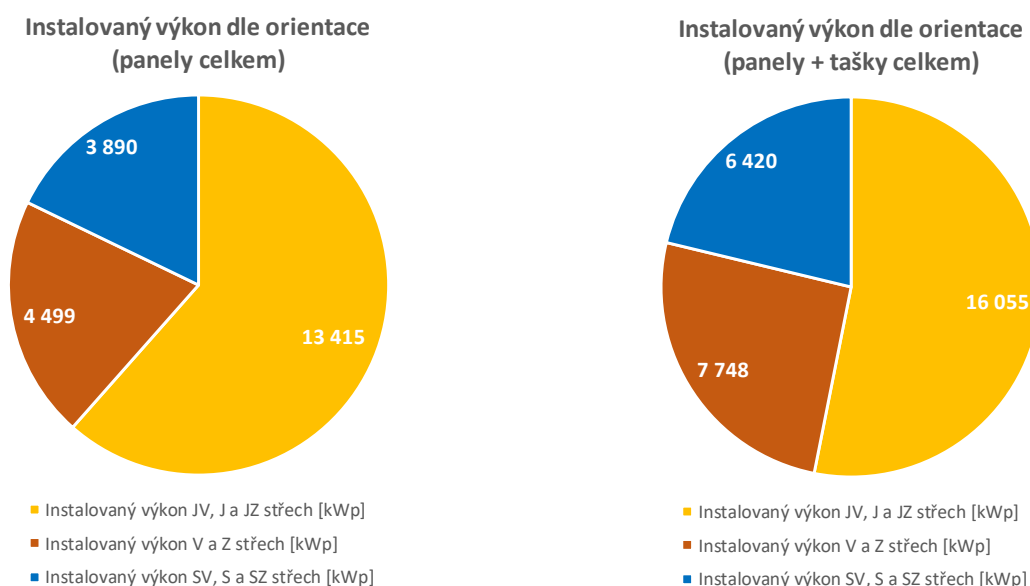
- Rezidenční charakter obce (velké množství samostatně stojících rodinných domů)
- Rozlehlé průmyslové zóny v okolí obce s vysokou využitelnou střešní plochou
- Výhodná orientace ulic, z nichž vychází orientace střech rodinných domů
- Lokální umístění v rovinné krajině
- Absence výškových budov stínících do svého okolí
- Výhodné umístění obce v kontextu ČR

6.10 Energetický zisk střešních FVE obce

Dle metodiky z kapitoly 6.5. byl stanoven celkový instalovatelný výkon pro scénář při využití pouze FV panelů. Dále byla tato metodika využita pro stanovení celkového instalovatelného výkonu v případě užití FV tašek pokrývajících 70 % střešní plochy sedlových střech.

Pro přehlednost následujícího textu je nutné definovat jednotlivé pojmy. V tomto textu je dále pod pojmem **instalovaný výkon** myšlen maximální možný instalovatelný výkon na střechy všech domů (nebo výběru z nich). Dalším pojmem, který je nutný definovat je **FV potenciál**. Ten popisuje užitečný instalovaný výkon zohledňující průměrnou roční výnosnost pro danou orientaci, sklon FV panelu, tepelné a jiné ztráty.

Následující Obr. 6-24 srovnává celkový instalovaný výkon v závislosti na uvažovaném scénáři. Na celkovém instalovaném výkonu na jižně orientovaných střechách se projeví především velké množství výrobních hal na východ od obce. Celkový instalovaný výkon jižních střech jiných budov tvoří 8 032 kWp z celkových 13 415 kWp (59,9 % celkového instalovaného výkonu na jižně orientovaných střechách).



Obr. 6-24 Porovnání instalovaného výkonu v závislosti na scénáři

Při modifikaci o scénář využívající FV tašky dojde ke zvýšení celkového instalovaného výkonu z důvodu zvýšení využitelnosti střešní plochy u rodinných domů. Zároveň vzroste podíl instalovaného výkonu na severně, východně a západně orientovaných střeších.

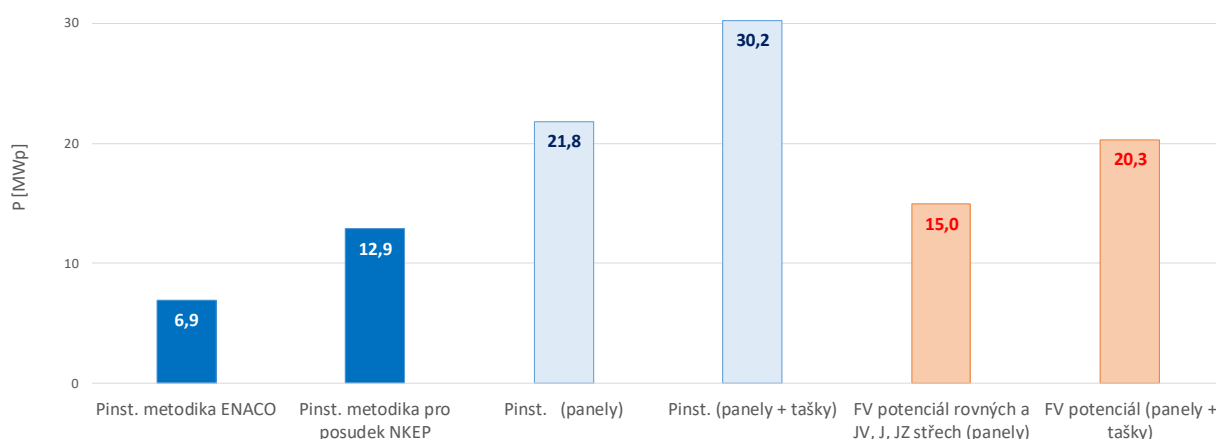
Instalovaný výkon na jižních střeších rodinných domů činí 5 382 kWp. To je přibližně 41 % celkového instalovaného výkonu na rodinných domech. Při scénáři využívajícího FV tašky dojde sice k nárůstu instalovaného výkonu na RD ovšem podíl jižních střešů se sníží na 37 %.

Následující Obr. 6-25 porovnává celkový výkon s dalšími metodikami odhadu a předpokládaným FV potenciálem vycházejícím z celkového instalovaného výkonu. Výpočet dalšími metodikami odhadu technického maxima instalovaného výkonu je detailně popsán v kapitole 6.12. Jiné metodiky odhadu jsou reprezentovány tmavě modrými sloupci. Metodika převzatá od společnosti ENACO vychází ze statistických dat, přičemž odhaduje 55 % využití vhodných RD/bytových domů pro FV instalaci při využití 33 % střešní plochy.

Metodika převzatá z oponentského posudku pro NKEP naopak umožňuje přizpůsobení koeficientů vhodných budov charakteru obce. Zároveň daná metodika rozšiřuje využitelnou střešní plochu u domů se sedlovou střechou koeficientem 1,5. Koeficienty pro odhad podílu vhodných budov pro FV instalaci byly stanoveny na 70 % u RD a 55 % u jiných budov při průměrné 33 % využitelnosti střešní plochy.

Převzaté metodiky jsou zatíženy značným zjednodušením a koeficienty využití střešní plochy i podílu vhodných budov jsou založeny na vlastním odhadu autorů daných studií. Z toho důvodu mezi srovnanými metodikami dochází ke znatelnému rozdílu. Odhad maximálního instalovaného výkonu metodikou navrhovanou v odhadu společnosti ENACO tvoří pouze 31,7 % maximálního instalovaného výkonu získaného na základě vlastního průzkumu pro vybranou obec.

Porovnání instalovaného výkonu a FV potenciálu jednotlivých metodik



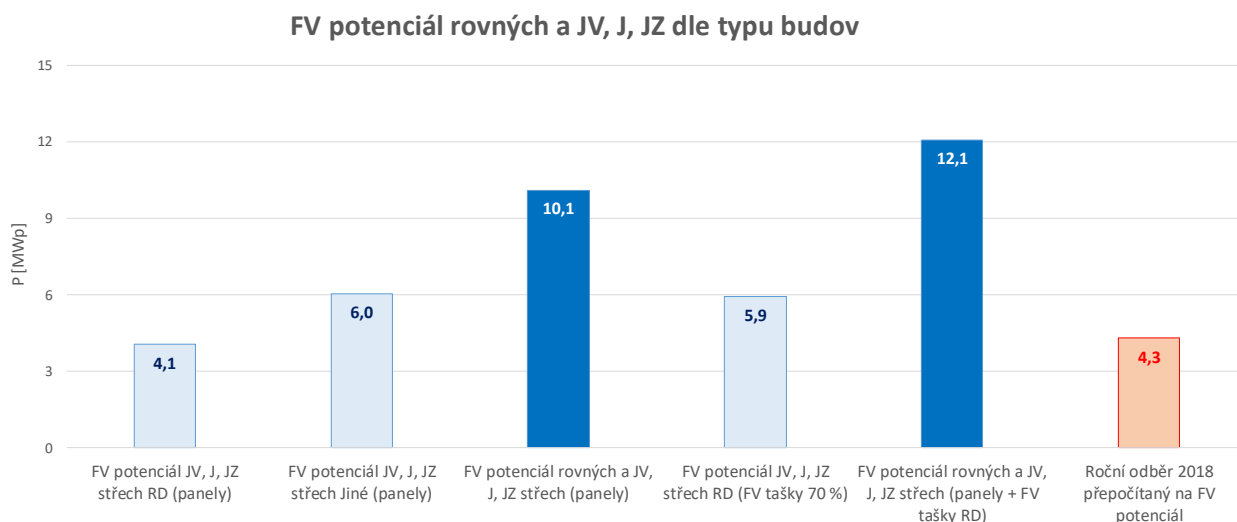
Obr. 6-25 Porovnání různých metodik stanovujících maximální technický potenciál obce

Světle modré sloupce zobrazují maximální možný instalovaný výkon, který byl dopočítán navrhovanou metodikou. Pro scénář uvažující pouze FV tašky je tato hodnota stanovena na 21,8 MWp. Při rozšíření o využití FV tašek na sedlových střeších celkový instalovaný výkon vzroste na 30,2 MWp. Navržená metodika zároveň umožňuje výpočet FV potenciálu obce. U scénáře využívajícího pouze FV panelů je celkový FV potenciál vybrané obce stanoven na 15 MW, při využití FV tašek celkový potenciál vzroste na 20,3 MW. Při scénáři využívajícího FV tašek se výrazně prohloubí rozdíl mezi instalovaným výkonem a užitným výkonem (FV

potenciálem). To je dáno z důvodu zvýšení využitelnosti neideálně orientovaných střech s vysokými ztrátami danými nevhodnou orientací FV tašek.

Pro porovnání očekávané roční produkce byla získána data o odhadované roční spotřebě obce Moravany poměrem z měřené rozvodny napájející Moravany u Brna spolu s okolními obcemi. Získaná roční spotřeba obce pro rok 2018 činí 4 608 MWh [48]. Technický potenciál obce výrazně převyšuje roční spotřebu.

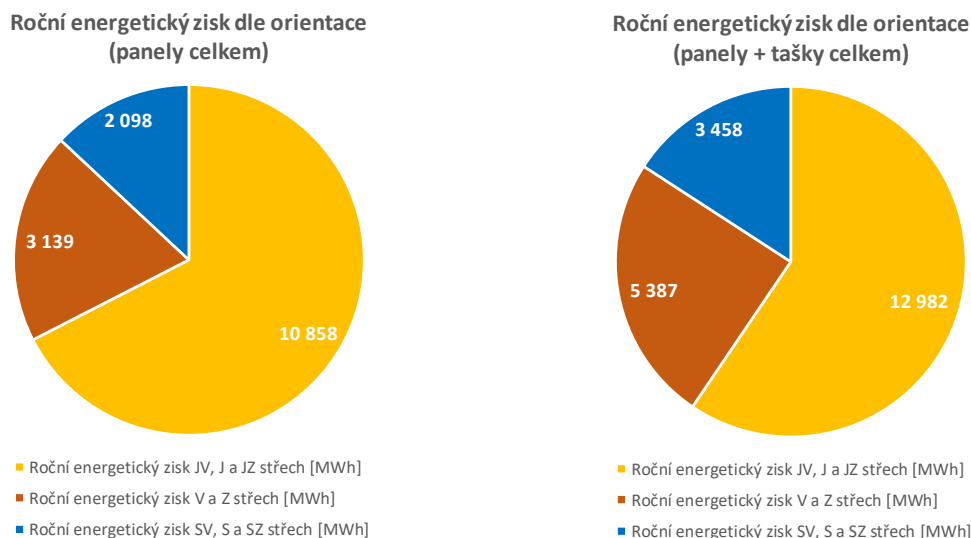
Potenciální energetická soběstačnost dané obce může být demonstrována na *Obr. 6-26*. Z celkového instalovaného výkonu jsou separovány JV, J a JZ střechy (energeticky výhodné orientace) přepočtené na FV potenciál. Hodnota FV potenciálu přepočítaného ze spotřeby obce z roku 2018 reprezentuje nutný užitečný výkon pro dosažení potřebného energetického zisku, který je roven roční spotřebě obce. Hodnota FV potenciálu reprezentující potřebný energetického zisk obce je 4,3 MW.



Obr. 6-26 Porovnání FV potenciálu jižních střech se spotřebou

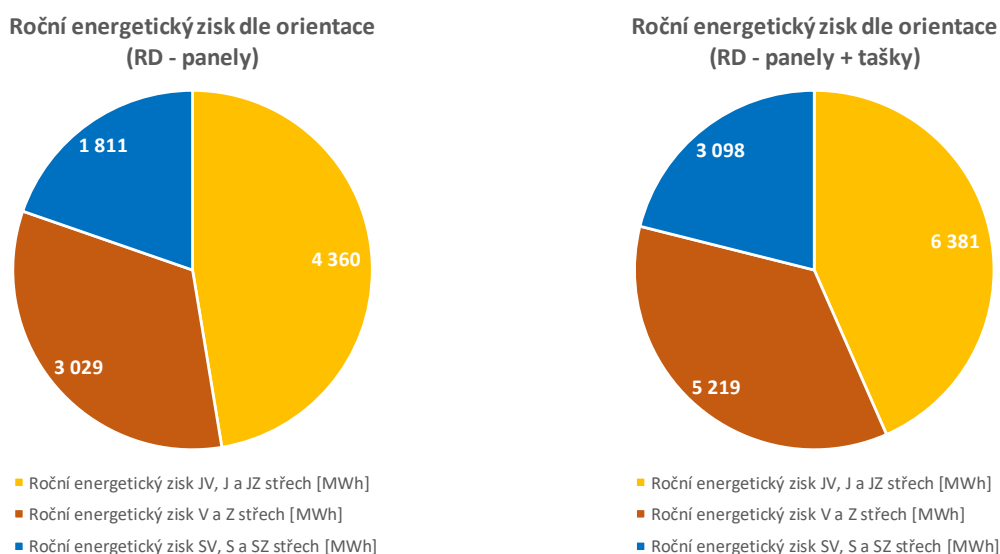
Pro danou obec může být proveditelné napájení pouze ze střešní fotovoltaiky. To však s sebou přináší další investice spojené především s bateriovými úložišti a další podpůrnou infrastrukturou nutnou k vypořádání se s vysokou produkcí především v letních měsících. Nároky na síť, které by takto plošné rozšíření střešních FV instalací přineslo, popisuje kapitola 6.11.

Při maximálním technickém potenciálu využívajícího pouze FV panelů může být dosaženo celkové roční výroby el. energie ve výši 16 095 MWh. Z toho střechy rodinných domů by byly schopné ročně produkovat 9 200 MWh. Roční energetických zisk všech budov v obci sumarizuje následující Obr. 6-27.



Obr. 6-27 Porovnání celkové roční výroby pro různé scénáře

Rodinné domy tvoří přibližně 57,1 % maximálního očekávaného ročního energetického zisku. Z toho důvodu bude provedeno shrnutí energetické výnosnosti pro jednotlivé scénáře uvažující pouze střechy rodinných domů (viz Obr. 6-28). Při užití pouze FV panelů roční energetický výnos jižních střeš RD tvoří 47,4 % celkové roční produkce. Z důvodu změn ve využitelné střešní ploše u jednotlivých domů dojde k poklesu dominance jižních střeš. Zároveň dojde k nárůstu produkce východních a západních střeš. Východní a západní střeš disponují poměrně vysokým FV potenciálem, může být v budoucnu po pokrytí většiny jižních střeš uvažováno i o východních a západních střeších rodinných domů (pokud dojde k ekonomické rentabilitě investice).



Obr. 6-28 Porovnání odhadované roční výroby RD pro různé scénáře

6.10.1 Přehled statistických dat

Výše v této kapitole proběhlo srovnání dílčích změn při uvažování jednotlivých scénářů a užití různých metodik výpočtu maximálního instalovaného výkonu. Navrhovanou metodikou bylo dojito k závěru, že se na území obce nachází celkem 211 423 m² střešní plochy. Z toho je pouze 91 846 m² využitelných pro FV panely a 164 383 m² pro FV panely ve spolupráci s FV taškami na sedlových střeších. Na tuto plochu může být instalován výkon 21 803 kWp ve FV panelech, popřípadě 30 222 kWp při doplnění FV panelů o FV tašky. S tímto instalovaným výkonem je dle odhadu možné dosáhnout roční výroby ve výši 16 095 MWh při užití pouze FV panelů. Při využití scénáře rozšiřujícího FV panely o FV tašky je odhadovaný roční energetický výnos 21 827 MWh.

Při plošném užití FV se výrazně projeví nárůst odhadované produkce střešních instalací. Nasbírané údaje o obci Moravany u Brna shrnuje níže uvedená Tab. 6-6. Tabulka je rozdělena dle typu domu na RD a Jiné. Dále je provedeno dělení dle scénáře uvažujícího pouze FV panely nebo rozšíření o FV tašky instalované na sedlové střechy. Pro větší názornost bylo provedeno sjednocení orientací střech na JV, J, JZ dále V, Z a SV, S, SZ.

Tab. 6-6 Přehled statistických dat

		RD - FV panely			RD - FV panely + tašky		
		JV, J, JZ	V, Z	SV, S, SZ	JV, J, JZ	V, Z	SV, S, SZ
střešní plocha	[m ²]	51 227	39 777	30 323	51 227	39 777	30 323
podíl	[%]	42	33	25	42	33	25
využitelná střešní plocha	[m ²]	22 439	15 406	12 140	42 910	41 766	31 760
podíl	[%]	45	31	24	37	36	27
nárůst proti scénáři s FV panely	[%]	x	x	x	91	171	162
instalovaný výkon	[kWp]	5 382	4 339	3 413	7 896	7 503	5 816
podíl	[%]	41	33	26	37	35	27
nárůst proti scénářů s FV panely	[%]	x	x	x	47	73	70
roční energetický výnos	[MWh]	4 360	3 029	1 811	6 381	5 219	3 098
podíl	[%]	47	33	20	43	36	21
nárůst proti scénáři s FV panely	[%]	x	x	x	46	72	71
		Jiné - FV panely			Jiné - FV panely + tašky		
střešní plocha	[m ²]	84 649	1 239	4 209	84 649	1 239	4 209
podíl	[%]	94	1	5	94	1	5
využitelná střešní plocha	[m ²]	42 256	568	2 036	43 434	1 301	3 213
podíl	[%]	47	33	20	91	3	7
nárůst proti scénáři s FV panely	[%]	x	x	x	3	129	58
instalovaný výkon	[kWp]	8 032	160	477	8 159	244	604
podíl	[%]	93	2	5	91	3	7
nárůst proti scénářů s FV panely	[%]	x	x	x	2	53	27
roční energetický výnos	[MWh]	6 498	110	287	6 601	168	359
podíl	[%]	47	33	20	93	2	5
nárůst proti scénáři s FV panely	[%]	x	x	x	2	53	25
		Celkem - FV panely			Celkem - FV panely + tašky		
střešní plocha	[m ²]	135 876	41 016	34 532	135 876	41 016	34 532
podíl	[%]	64	19	16	64	19	16
využitelná střešní plocha	[m ²]	64 695	15 974	14 176	86 343	43 067	34 973
podíl	[%]	68	17	15	53	26	21
nárůst proti scénáři s FV panely	[%]	x	x	x	33	170	147
instalovaný výkon	[kWp]	13 415	4 499	3 890	16 055	7 748	6 420
podíl	[%]	62	21	18	53	26	21
nárůst proti scénáři s FV panely	[%]	x	x	x	20	72	65
roční energetický výnos	[MWh]	10 858	3 139	2 098	12 982	5 387	3 458
podíl	[%]	67	20	13	59	25	16
nárůst proti scénáři s FV panely	[%]	x	x	x	20	72	65

6.11 Předpokládaný dopad na elektrickou síť

Využití maximálního potenciálu FV střešních instalací na střechách všech vhodných budov obce s sebou přináší řadu technických výzev. Především během letních slunečních dní může docházet ke značnému přetížení sítě z důvodu velkého množství připojených malých zdrojů dodávajících v součtu do sítě poměrně vysoký výkon. Jedním z řešení může být masivní využití malých bateriových úložišť. Řešením této problematiky není předmětem bakalářské práce. V této kapitole dojde pouze ke grafickému zobrazení průběhů odhadované roční produkce spolu se zobrazením odhadovaného denního průběhu zátěže sítě fotovoltaikou v průběhu nejvýnosnějšího měsíce v roce (červenci). Údaje o odběru obce jsou převzaty z literatury [48].

Popisovaná metodika v kapitole 6.5 důvodu své jednoduchosti a masové aplikovatelnosti neumožňuje ze své podstaty výpočet měsíční a denní produkce, proto musel být zvolen opačný postup – tedy ze známé roční produkce. Pro tento účel byla vybrána volně dostupná FV kalkulačka na internetových stránkách <http://re.jrc.ec.europa.eu> [27] aktuální k 21. 9. 2017. Z navrhované metodiky je známý celkový instalovaný výkon pro orientaci S, SV, V, JV, J, JZ, Z a SZ. Pro každou z těchto orientací byla provedena simulace pro statickou střešní instalaci pro souřadnice 49,147 šířky a 16.577 délky. Údaje pro vstupní data výpočtu jsou uvedena v Tab. 6-7. Z důvodu v práci uvažovaného panelu je zvolena technologie FV panelu jako „Crystalline silicon“. Systémové ztráty jsou pro simulaci nastaveny na hodnotu 0 % z důvodu jejich neuvažování v bakalářské práci.

Tab. 6-7 Přehled vstupních dat do simulace

		orientace							
		S	SV	V	JV	J	JZ	Z	SZ
instalovaný výkon	[kWp]	3 100	297	2 280	515	12 645	254	2 219	493
azimut	[°]	-180	-135	-90	-45	0	45	90	135
sklon	[°]	35	35	35	35	35	35	35	35

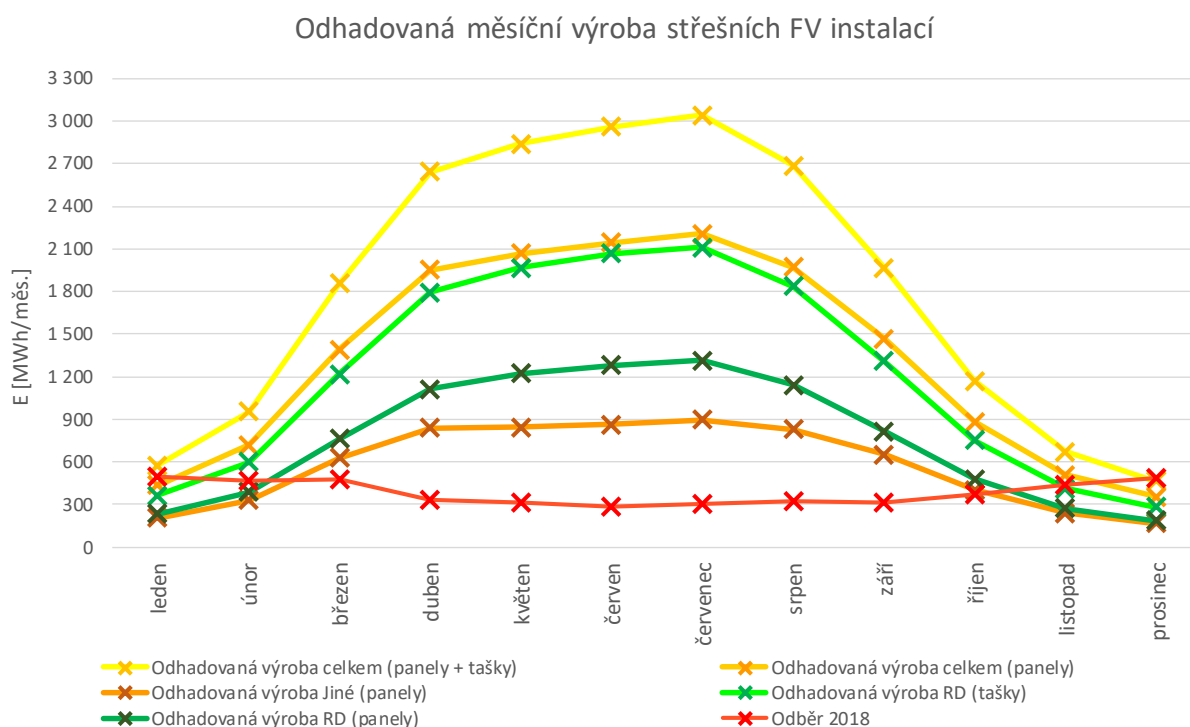
Při takto uvažovaném zjednodušení dosahuje vlastní odhadovaná roční výroba 70,6 % simulace. Tato hodnota je přibližně odpovídající, jelikož simulované tepelné ztráty jsou značně nižší než v normě uváděných 20 %. Ztráty teplem simulace uvažuje okolo 10 %. Další chyba je zanesena z důvodu neuvažování odlišných sklonů střech, které jsou zohledněny ve vlastním výpočtu bakalářské práce. Ze získaných dat o měsíční výrobě byl proveden přepočít přes koeficienty měsíčního podílu z celkové odhadované výnosnosti pro jednotlivé měsíce. Do vlastního průběhu roční produkce je tedy řadou zjednodušení zaneseno velké množství statistických chyb. Zobrazovaný průběh je hrubým odhadem a zobrazená data je nutné brát s patřičnou rezervou. Výsledný průběh pro všechny orientace střech je spolu s roční spotřebou zobrazen v Tab. 6-8.

Tab. 6-8 Odhadovaná roční výroba střešních FV instalací

Měsíc	E _m [MWh]					Odběr 2018 [MWh]
	RD (panely)	RD (panely + tašky)	Jiné (panely)	Celkem (panely)	Celkem (panely + tašky)	
leden	231,76	364,56	204,32	436,09	574,74	493,22
únor	387,44	597,66	331,70	719,14	952,68	469,29
březen	763,19	1 219,77	627,21	1 390,40	1 855,22	473,09
duben	1 112,16	1 791,61	838,95	1 951,11	2 642,83	333,64
květen	1 220,72	1 966,02	845,05	2 065,76	2 839,83	312,50
červen	1 281,91	2 069,35	860,54	2 142,45	2 960,62	288,77
červenec	1 312,29	2 110,14	894,88	2 207,17	3 041,85	302,37
srpen	1 139,17	1 834,27	830,77	1 969,94	2 684,05	326,09
září	814,84	1 311,03	652,11	1 466,95	1 966,48	313,30
říjen	479,36	751,26	401,73	881,10	1 171,60	371,90
listopad	271,20	411,68	238,63	509,83	672,07	435,30
prosinec	186,11	282,05	168,51	354,61	465,10	488,66
Součet	9 200,14	14 709,39	6 894,41	16 094,55	21 827,08	4608,14

Roční výroba rozložená na jednotlivé měsíce pro vybrané scénáře zobrazena na Obr. 6-29. Obrázek zobrazuje odhadovaný roční průběh výroby pro jednotlivé scénáře. Žlutá linka představuje průběh výroby při scénáři uvažující FV tašky na sedlových střechách domů spolu s FV panely na rovných střechách. Využití technického maxima FV tašek vede k výraznému nárůstu dodávaného výkonu oproti využití pouze FV panelů (oranžový průběh). Výrazný nárůst výroby lze pozorovat především při separování rodinných domů, jelikož u toho typu domu jsou sedlové střechy dominující. Odhadovaný dodávaný výkon při pokrytí všech orientovaných částí střechy u RD fotovoltaickými taškami dosahuje téměř na úroveň celkové výroby uvažující scénář s FV panely. Při pokrytí celé střechy jsou FV tašky z hlediska odhadovaného energetického zisku ze slunečního záření výhodnější. Přestože se v okolí obce vyskytují rozsáhlé průmyslové zóny, tak odhadovaná maximální výroba střešních instalací jiných budov nepřekračuje výrobu rodinných. Do budoucna však lze předpokládat, že využití střech výrobních hal bude oproti RD domů vyšší. Tento odhad je založen na předpokladu, že rostoucí ceny elektřiny, snižujícími se náklady na výstavbu FV elektrárny spolu s možností orientovat panely na rovných střechách ideálním směrem pro dosažení maximálního energetického výnosu povede k plošnému rozšíření instalací na tomto typu staveb.

Průběh odhadované spotřeby z distribučních transformátorů pro danou obec je zobrazen červenou linkou. Na průběhu spotřeby je patrný nárůst odběru v zimních měsících. To je způsobeno především zvýšeným požadavkem na vytápění u rodinných domů.



Obr. 6-29 Odhadovaná měsíční výroba střešních FV instalací

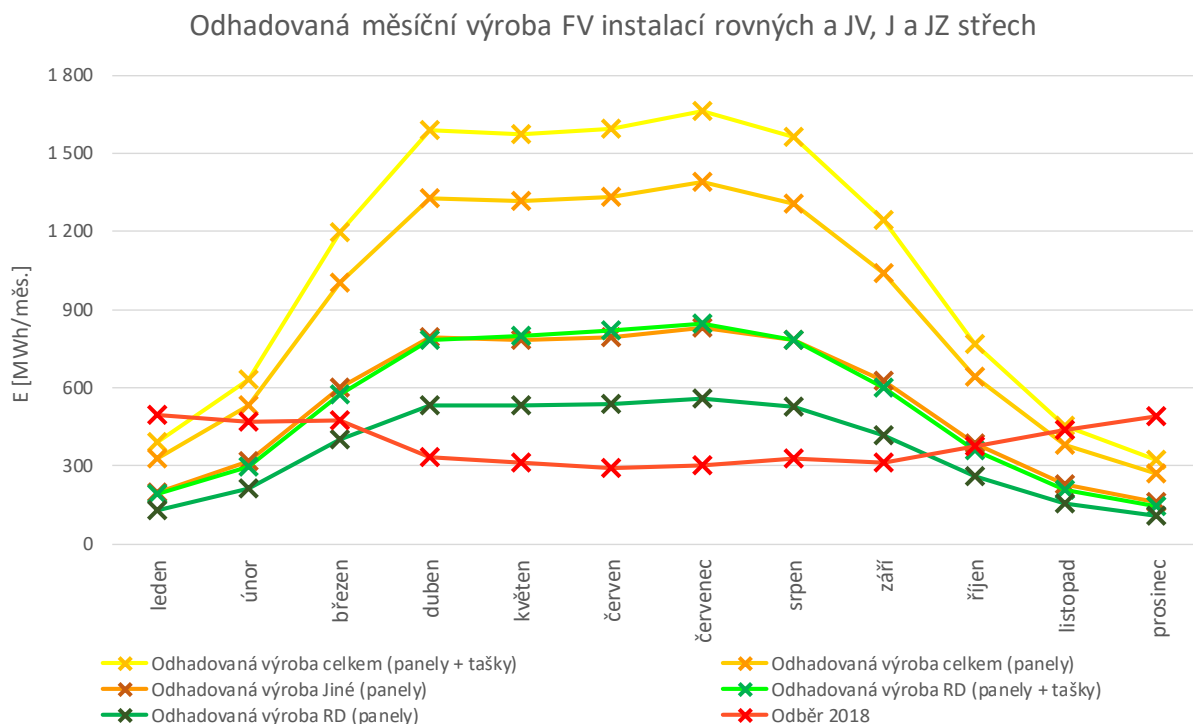
Nejvyšší energetickou výnosností disponují jižně orientované střechy. Pro scénář uvažující pouze FV panelů tvoří roční energetický výnos 67 % z celku. Z toho důvodu je provedena separace dat pro JV, J a JZ orientované střechy. V závislosti na scénáři jižní střechy zabírají různě vysoký podíl výroby. Nejvýraznější zastoupení jižních střech je mezi jinými budovami. Roční výroba pro různé scénáře je uvedena v Tab. 6-9.

Tab. 6-9 Odhadovaná roční výroba uvažující pouze jižní střechy

Měsíc	E _m [MWh]					Odběr 2018 [MWh]
	RD (panely)	RD (panely + tašky)	Jiné (panely)	Celkem (panely)	Celkem (panely + tašky)	
leden	129,95	189,62	196,21	326,16	388,96	493,22
únor	211,61	294,97	318,29	529,91	632,40	469,29
březen	401,77	572,51	601,71	1 003,48	1 198,61	473,09
duben	533,02	780,02	793,55	1 326,57	1 586,42	333,64
květen	529,27	799,14	784,83	1 314,11	1 572,84	312,50
červen	536,18	819,64	793,55	1 329,74	1 592,19	288,77
červenec	559,42	845,26	828,43	1 387,85	1 661,52	302,37
srpen	525,16	780,08	780,47	1 305,64	1 561,98	326,09
září	417,42	597,64	623,51	1 040,93	1 243,98	313,30
říjen	256,92	361,16	385,44	642,36	766,98	371,90
listopad	152,16	206,62	229,35	381,50	455,08	435,30
prosinec	107,31	144,19	162,20	269,51	321,30	488,66
Součet	4 360,19	6 390,85	6 497,54	10 857,73	12 982,26	4608,14

Graficky znázorněný měsíční průběh výroby pro jednotlivé scénáře je zobrazen na Obr. 6-30. Při využití pouze jižních střech znatelně poklesl rozdíl mezi scénářem využívajícího pouze FV panely a rozšířením o FV tašky, přestože využití FV tašek u sedlových střech vede ke zvýšené výrobě. Při scénáři uvažující pouze instalace na jižních střechách u rodinných domů dojde k poklesu instalovatelného výkonu přibližně na 1/3 celkového technického maxima, jelikož jinak orientované střechy zabírají přibližně 2/3 střešní plochy RD. Při scénáři uvažujícího pokrytí střech RD je výroba téměř shodná s odhadovanou výrobou jiných budov.

Oproti měsíčnímu průběhu výroby při pokrytí všech orientací se u jižně orientovaných střech v průběhu roku objeví dvě špičky (duben a červenec). Pokles během května může být způsoben změnou polohy slunce nad horizontem či zvýšenými tepelnými ztrátami v průběhu těchto měsíců. Výroba v zimních měsících není i při využitím maximálního technického potenciálu jižních střech dostačující.



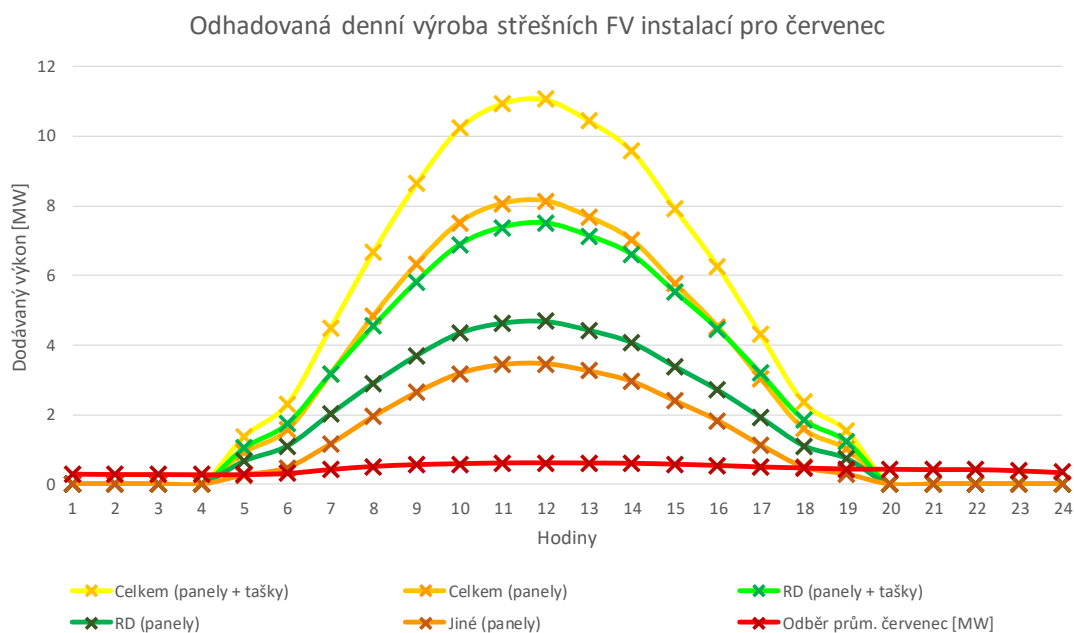
Obr. 6-30 Odhadovaná měsíční výroba FV instalací jižních střech

Z ročního průběhu je zřejmé, že energeticky nejvýnosnější je pro střešní FV instalace měsíc červenec – proto bude simulace denního průběhu výroby stanovena právě pro tento měsíc. Vypočtení denního průběhu bylo provedeno obdobným způsobem jako při ročním průběhu.

Odhadovaný energetický výnos pro měsíc červenec byl podělen 31 dny. Získaná hodnota byla rozdělena mezi jednotlivé orientace (S, SV, V, JV, J, JZ, Z, SZ) v závislosti poměrech výroby. V aplikaci [27] byla provedena simulace denního průběhu pro orientace S, SV, V, JV, J, JZ, Z a SZ se stejnými vstupními údaji jako při ročním průběhu. Obdržené hodnoty byly přes poměry přepočítány na vlastní hodnoty maximální denní výroby pro jednotlivé orientace. Následující Tab. 6-10 a Obr. 6-31 zobrazuje denní průběh odhadované výroby při uvažování všech orientací střech.

Tab. 6-10 Odhadovaná denní výroba střešních FV instalací pro červenec

Hodina	E _p [MW]					Odběr prům. červenec [MW]
	RD (panely)	RD (panely + tašky)	Jiné (panely)	Celkem (panely)	Celkem (panely + tašky)	
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,29
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,29
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,29
5	0,66	1,05	0,26	0,92	1,37	0,29
6	1,09	1,74	0,48	1,57	2,31	0,32
7	2,01	3,17	1,16	3,17	4,48	0,42
8	2,90	4,54	1,94	4,84	6,68	0,51
9	3,69	5,82	2,63	6,32	8,64	0,55
10	4,34	6,88	3,18	7,52	10,23	0,58
11	4,63	7,38	3,43	8,06	10,95	0,60
12	4,68	7,50	3,46	8,14	11,06	0,60
13	4,43	7,13	3,25	7,68	10,45	0,60
14	4,07	6,60	2,95	7,02	9,58	0,59
15	3,39	5,53	2,40	5,78	7,93	0,57
16	2,71	4,46	1,83	4,53	6,27	0,53
17	1,91	3,18	1,12	3,04	4,30	0,49
18	1,10	1,86	0,49	1,59	2,35	0,47
19	0,73	1,23	0,29	1,02	1,53	0,44
20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,43
21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,42
22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,42
23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,39
24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,34
Součet	42,33	68,07	28,87	71,20	98,12	10,73



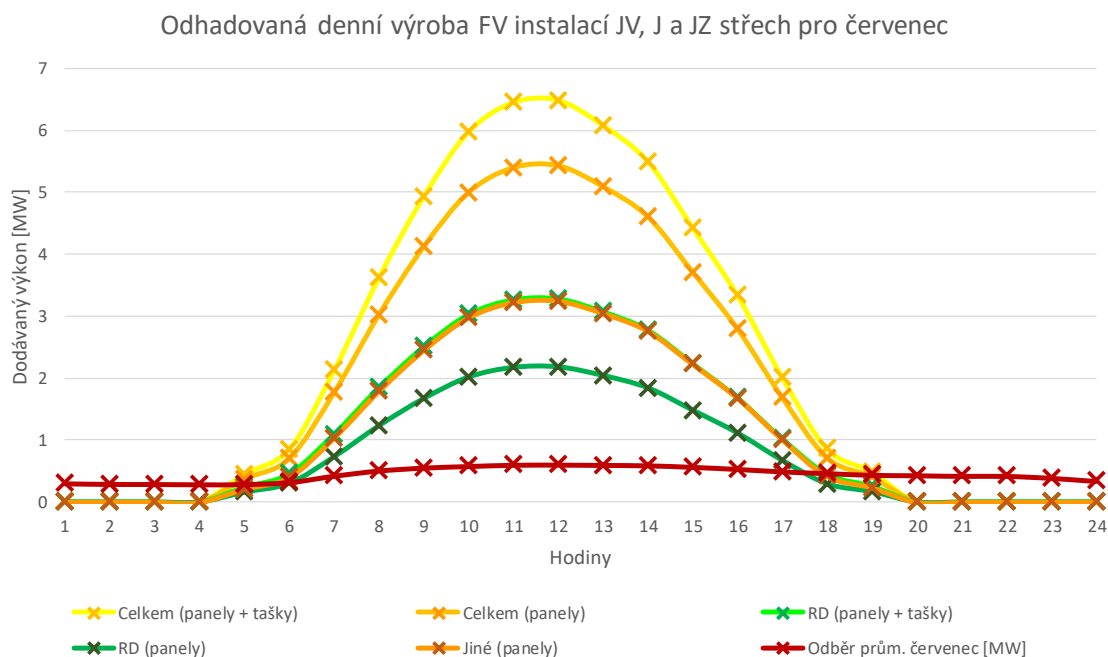
Obr. 6-31 Odhadovaná denní výroba střešních FV instalací pro červenec

Při denním průběhu výroby se uvažujícího všechny orientace se opět výrazně projeví výroba FV tašek na střeších rodinných domů. Nejvyšší denní výroba je očekávána okolo poledne, ovšem denní spotřeba domácností vzrůstá především ve večerních hodinách. Pro efektivní využití FV instalace a stabilizace sítě je nutná spolupráce s bateriovými úložišti.

Pro porovnání je proveden odhad průběhu denní výroby i pro jižně orientované střechy zobrazen v Tab. 6-11 a Obr. 6-32. Při uvažování pouze jižních střech poklesne produkce FV tašek u RD na úroveň FV instalací rovných střech jiných budov, přesto je se FV tašky pro RD jeví výhodněji oproti FV panelům.

Tab. 6-11 Odhadovaná průměrná denní výroba jižních střech pro červenec

Hodina	E _p [MW]					Odběr prům. červenec [MW]
	RD (panely)	RD (panely + tašky)	Jiné (panely)	Celkem (panely)	Celkem (panely + tašky)	
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,29
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,29
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,29
5	0,16	0,24	0,21	0,37	0,45	0,29
6	0,30	0,46	0,40	0,70	0,86	0,32
7	0,73	1,10	1,04	1,77	2,13	0,42
8	1,23	1,85	1,79	3,02	3,62	0,51
9	1,67	2,51	2,45	4,12	4,93	0,55
10	2,01	3,03	2,98	4,99	5,97	0,58
11	2,17	3,27	3,22	5,39	6,45	0,60
12	2,18	3,28	3,25	5,42	6,48	0,60
13	2,04	3,08	3,05	5,09	6,08	0,60
14	1,84	2,78	2,76	4,60	5,50	0,59
15	1,48	2,24	2,23	3,71	4,43	0,57
16	1,11	1,69	1,68	2,79	3,34	0,53
17	0,67	1,02	1,01	1,69	2,02	0,49
18	0,29	0,45	0,42	0,71	0,86	0,47
19	0,17	0,26	0,24	0,40	0,49	0,44
20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,43
21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,42
22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,42
23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,39
24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,34
Součet	18,05	27,27	26,72	44,77	53,60	10,73

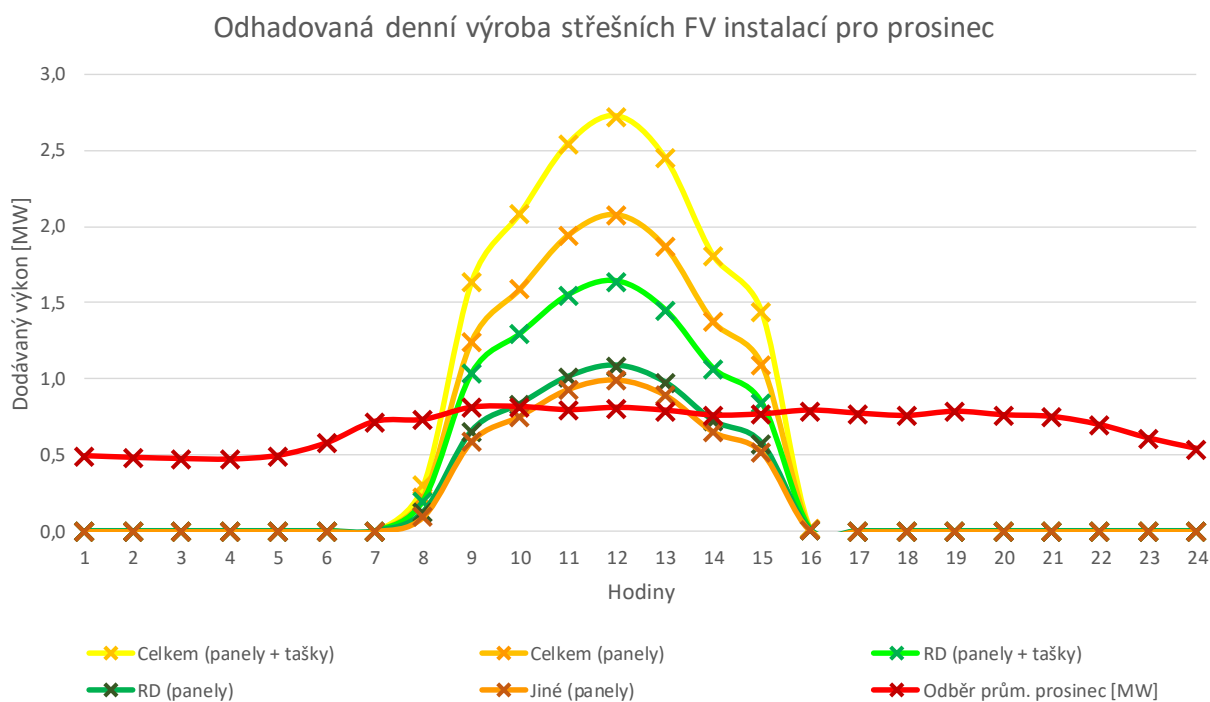


Obr. 6-32 Odhadovaná denní výroba FV instalací jižních střech pro červenec

Zároveň bylo provedeno porovnání odhadované denní výroby v prosinci s průměrnou denní spotřebou viz Tab. 6-12 a Obr. 6-33. Na snížené výrobě se projeví kratší doba oslunění panelů spolu s nižší polohou slunce nad horizontem. Zároveň dochází k navýšení spotřeby obce z důvodu vytápění domácností.

Tab. 6-12 Odhadovaná průměrná denní výroba FV instalací pro prosinec

Hodina	E _b [MW]					Odběr prům. prosinec [MW]
	RD (panely)	RD (panely + tašky)	Jiné (panely)	Celkem (panely)	Celkem (panely + tašky)	
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,49
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,48
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,47
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,47
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,58
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,72
8	0,13	0,20	0,10	0,22	0,30	0,73
9	0,66	1,04	0,59	1,25	1,64	0,81
10	0,83	1,30	0,76	1,59	2,08	0,82
11	1,01	1,55	0,93	1,95	2,54	0,79
12	1,09	1,64	0,99	2,08	2,72	0,81
13	0,98	1,45	0,89	1,87	2,45	0,79
14	0,72	1,07	0,65	1,37	1,81	0,76
15	0,58	0,84	0,52	1,09	1,44	0,77
16	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,79
17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,77
18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,76
19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,78
20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,76
21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75
22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,70
23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,61
24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,54
Součet	6,00	9,10	5,44	11,44	15,00	16,45



Obr. 6-33 Odhadovaná průměrná denní výroba střešních FV instalací pro prosinec

6.12 Výpočet technického potenciálu obce jinými metodikami

Na základě získaných dat byly kromě vlastní metodiky provedeny i analýzy již v praxi použitých metodik aplikovaných na území České republiky. Níže uvedené metodiky vycházely ze statistických dat, přičemž vstupní data byla v obou případech upravena pro potřeby této bakalářské práce. Nejedná se tedy o čisté replikace daných metodik.

6.12.1 Výpočet dle metodiky ENACO

Pro ověření mnou navržené metodiky bude na obec Moravany aplikována metodika převzatá ze studie ENACO [19]. Využitelná půdorysná plocha ovšem nebude počítána z průměrné podlažnosti domů, ovšem bude převzata zastavěná plocha obce (s nádvořími) z Českého statistického úřadu [49]. Tento odhad oproti studii provedené společností ENACO zahrnuje i nebytové stavby ovšem s aplikací stejné metodiky. Nejedná se tedy pouze o potenciál bytových budov, ale o odhadovaný celkový technický potenciál střešní fotovoltaiky celé obce. Jelikož veřejně dostupná vstupní data zahrnují i plochu nádvoří, výsledek je tedy nutné brát s rezervou a počítat se statistickou chybou. Zároveň tento postup neuvažuje s tím, že většina střech rodinných domů v obci má sedlovou střechu se štítem přesahujícím půdorys. V bakalářské práci je u sedlových střech využitelná plocha rozšířena koeficientem 1,5 převzatým ze studie [6].

Dle Českého statistického úřadu zabírá v obci Moravany zastavěná plocha včetně nádvoří celkem 29,43 hektarů. Z vlastní průzkum provedený na základě analýzy katastrálních map aktuální k březnu 2019 bylo zjištěno, že bytová zástavba zabírá 127 611 m². Rodinné a bytové domy představují přibližně 43 % zástavby obce. Jak uvádí převzatá studie, tak je předpokládána 55% podíl rodinných a bytových domů vhodných pro umístění fotovoltaické instalace. Pro jiné budovy je převzat předpoklad 25 % využitelných budov. Pro oba typy zástavby je předpokládána třetinová využitelnost vhodných střech.

Od doby vzniku studie v roce 2014 ovšem došlo na trhu s fotovoltaickými panely k nezanedbatelnému vývoji. Zatímco studie [19] provedená v roce 2014 počítá s aplikací panelů o špičkovém výkonu 250 Wp (při rozměrech panelu 1,650 m x 0,992 m), tato bakalářská práce využívá pro svůj odhad panel 325 Wp (při rozměrech panelu 1,696 m x 1,022 m). Pro následující výpočet je využit panel 325 Wp z důvodu porovnání jednotlivých metodik s výsledky bakalářské práce. Postup výpočtu zobrazuje Tab. 6-13.

Tab. 6-13 Výpočet maximálního instalovatelného výkonu v obci

Zastavěná plocha (zahrnuté RD/BD)	S_z	[m ²]	127611
Zastavěná plocha (ČSÚ)	$S_{\text{ČSÚ}}$	[m ²]	294300
Podíl využitelnosti střechy	K_v	[-]	0,33
Podíl vhodných RD/BD	K_{RD}	[-]	0,55
Podíl vhodných jiných budov	K_j	[-]	0,25
Plocha zabíraná panelem	S_p	[m ²]	1,73
Špičkový výkon panelu	P_{pk}	[kWp]	0,325
Celkový potenciál (vlastní data + ČSÚ)	$C_{\text{celk}} = (S_z/S_p) \cdot P_{\text{pk}} \cdot K_{\text{RD}} \cdot K_v + ((S_{\text{ČSÚ}} - S_z)/S_p) \cdot P_{\text{pk}} \cdot K_j \cdot K_v$	[kWp]	6 934,6

Celkový fotovoltaický potenciál rezidentních a nerezidentních budov je odhadnut na 6 934,6 kWp instalovaného výkonu. Je nutno poznamenat je tento předpoklad značně zjednodušující. Není zahrnuto zvýšení užité plochy u rodinných domů se sedlovou střechou. Zároveň je odhadnuto, že pouze 25 % jiných budov je vhodných ke střešní instalaci. Jelikož na katastrálním území Moravan jiné budovy představují především výrobní haly s vysokým FV potenciálem, je hodnota koeficientu pro danou obec značně podhodnocena.

6.12.2 Metodika použita v oponentském posudku NKEP

Ke konci roku 2018 byl zveřejněn Oponentní posudek k vybraným tématům z návrhu Národního Klimaticko-Energetického Plánu (NKEP) pro oblast FVE [6] jehož součástí byl odhad fotovoltaiického potenciálu rezidentních a nerezidentních budov pro Českou republiku. Toto studie opět vychází z podlažnosti budov. Jelikož se v obci nachází především jednopatrové domy, byly výchozí data zjednodušeny na zastavěnou plochu. Zastavěná plocha rodinných a bytových domů byla získána vlastním průzkumem z katastrálních map aktuálních k březnu 2019. Odhad uvažuje s rozšířením užité plochy sedlových střech rodinných a bytových domů o 50 %. Oproti předchozí metodice využití ve zprávě společnosti ENACO byl proveden fixní odhad vhodných budov pro FV instalaci. V této kapitole uvažovaná metodika naopak připouští rozptyl podílu využitelných budov pro FV instalaci. To je dáno z důvodu, že při takto plošně užitém odhadu není vhodné fixně stavovat koeficienty využití – naopak má vést spíše k rozptylu. Maximální instalovatelný výkon pro jednotlivé varianty využití budov (0,33; 0,55; 0,7) zobrazuje Tab. 6-14.

Tab. 6-14 Porovnání maximálního instalovatelného výkonu v závislosti na scénáři

Podíl vhodných budov [-]	využitelnost střechy [-]	potenciál RD/BD [kWp]	potenciál jiných budov [kWp]	celkový potenciál [kWp]
0,3	0,33	2 966,7	3 255,1	6 221,8
0,55	0,33	5 438,9	5 967,7	11 406,7
0,7	0,33	6 922,3	7 595,3	14 517,6

Následující výpočet se zakládá na vlastním průzkumu charakteru obce. Pro tabulkové hodnoty je předpokládán podíl využitelných rodinných domů pro FV instalaci na 70 %. Podíl využitelných jiných budov je odhadnut pouze na 55 %. To je dáno z důvodu, že třetinu zastavěné plochy obce tvoří zahrádkářské kolonie, které jsou nevhodné pro FV instalaci. Dále byl převzat odhadovaný podíl sedlových střech. Výchozí text uvažuje 50 % podíl sedlových střech u rodinných domů, u jiných budov odhad počítá s 10% podílem. Využitelnost vhodných střech je plošně stanovena na 1/3 (zaokrouhлено na 0,33). Následující Tab. 6-15 zobrazuje metodiku výpočtu pro odhad potenciálu vycházející z nasbíraných dat.

Tab. 6-15 Maximální instalovaný výkon přizpůsobený charakteru obce

Zastavěná plocha (zahrnuté RD/BD)	S_z	[m ²]	127611
Zastavěná plocha (ČSÚ)	$S_{ČSÚ}$	[m ²]	294300
Koeficient rozšíření plochy sedlových střech	K_s	[-]	1,5
Podíl sedlových střech RD	P_{sRD}	[-]	0,5
Podíl sedlových střech jiné budovy	P_{sJ}	[-]	0,1
Podíl využitelnosti střechy	K_v	[-]	0,33
Podíl vhodných budov	$K_{0,30}$	[-]	0,30
Podíl vhodných budov	$K_{0,55}$	[-]	0,55
Podíl vhodných budov	$K_{0,70}$	[-]	0,70
Plocha zabíraná panelem	S_p	[m ²]	1,73
Špičkový výkon panelu	P_{pk}	[kWp]	0,325
Celkový potenciál (RD 70 % + jiné 55 %)	$C_{celk} = (S_z/S_p) \cdot (K_s \cdot P_{sRD} + 1 - P_{sRD}) \cdot P_{pk} \cdot K_{0,70} \cdot K_v + ((S_{ČSÚ} - S_z)/S_p) \cdot (K_s \cdot P_{sJ} + 1 - P_{sJ}) \cdot P_{pk} \cdot K_{0,55} \cdot K_v$		12 890,0

Výsledný maximální odhadovaný instalovatelný výkon obce byl touto metodikou odhadnut na 12 890 kWp. Je nutné poznamenat, že i přes využití individualizace vstupních koeficientů pro daný charakter obce nemusí být odhadovaná hodnota průkazná. Tato metodika stále uvažuje s velkým množstvím zjednodušení. Pro zpřesnění této metodiky se nabízí vytvoření typizovatelných fragmentů zástavby a definování jejich koeficientů podílu vhodných budov a využitelnosti střechy. Dále pak by bylo nutné stanovit průměrnou orientaci střech jednotlivých budov pro lepší odhad FV potenciálu orientací výhodných z hlediska energetické výnosnosti. Pro zvýšení informací o fragmentu obce je dále výhodné rozlišit charakter zástavby a následně podíl RD a J. Výsledný odhad by pak byl složen z těchto fragmentů.

7 ZÁVĚR

Z důvodu rostoucího zájmu a rozšiřování střešních fotovoltaických instalací vyvstává otázka technického maxima počtu instalací a maximálního možného dodávaného výkonu doposud nevyužitých budov. Na tyto otázky se pokouší odpovědět tato bakalářská práce. V úvodní části je proveden obecný náhled do problematiky střešní fotovoltaiky. V kapitole 3.2 jsou rozebrány konkrétní vnější vlivy působící na střešní instalaci a jejich projevení na výrobě fotovoltaického panelu. Dále jsou rozebrány jednotlivé požadavky na idealizovaný dům navržený pro maximální energetický výnos jeho střešní instalace.

Po teoretickém úvodu je hodnocena současná situace střešní fotovoltaiky v České republice. Nasbíraná data ukazují po několikaleté stagnaci skokový nárůst počtu instalací. V celorepublikovém měřítku se však nejedná o plošné rozšiřování malých fotovoltaických elektráren ovlivňující svým dodávaným výkonem distribuční síť. Do budoucna lze předpokládat masivnější rozšíření střešní fotovoltaiky hned z několika důvodů.

- Rostoucí cena elektřiny
- Snižující se pořizovací náklady na fotovoltaickou instalaci
- Zvyšující se účinnost fotovoltaických panelů
- Trend zvyšujícího se podílu obnovitelných zdrojů ve výrobním energetickém mixu
- Smart grids a snaha o decentralizaci zdrojů
- Politická a společenská vůle na přechod výroby k obnovitelným zdrojům energie
- Zvyšující se dostupnost malých bateriových úložišť
- Blížící se masivnější příchod elektromobilismu do ČR

Z toho důvodu je nutné položení otázky, jaké čisté zdroje elektrické elektřiny lze využít. Na území České republiky se jeví výhodné využití právě fotovoltaiky, jelikož geografická poloha ČR a charakter krajiny není výhodný pro budování rozsáhlých větrných parků a na území státu nejsou vodní toky umožňující stavby dalších vodních elektráren. Výhodou fotovoltaiky je, že může být využita již existující nosná infrastruktura (střechy) a nejsou nutné zásahy do krajiny.

Problematickou plošného využití střešní fotovoltaiky a technického maxima se již zabývalo na území České republiky několik studií. Jedná se však o odhady vycházející ze statistických dat s vysokou mírou zanesené chyby. Z toho důvodu přichází tato bakalářská práce, ve které je navržena metodika vhodná k plošnému stanovení fotovoltaického potenciálu menších obcí. Navržená metodika vychází z normy ČSN EN 15316-4-3. Tato metodika je vysvětlena v kapitole 6.5. Jedná se o zjednodušenou metodiku odhadu roční výroby střešní instalace založené na veřejně dostupných zdrojích. Pro výpočet danou metodikou je nutné postupovat dům po domu (pokud není využito softwarové automatizace). Výhodou tohoto postupu je nasbírání velkého množství statistických dat a detailní přehled o charakteru obce. Nevýhodou této metodiky je její vhodnost/omezení pouze na menší obce (odhadem do 3000 obyvatel) především z důvodu časové náročnosti metodiky.

Při využití navrhované metodiky na větší území by pro zrychlení odhadu bylo nutné provést typizaci jednotlivých fragmentů zástavby. Každý dílčí fragment by byl popsán počtem rodinných/bytových domů a jiných budov. Zároveň by byl proveden odhad zastoupení sedlových a rovných střech spolu s poměrem orientací vůči světovým stranám. Dále by bylo nutné stanovit

průměrné využití střešní plochy. Nabízí se tedy přenášení parametrů typových fragmentů v případě opakujícího se typu zástavby.

V rámci bakalářské práce byl zpracován odhad podílu využitelných střech, technického maxima instalovaného výkonu, vyhodnocení účinného výkonu, spolu s roční výrobou a očekávaným denním zatížením sítě v energeticky nejvýnosnějším měsíci v roce (pro jednotlivé scénáře). Nasbíraná data technického potenciálu odpovídají rozsahu obce Moravany u Brna ke květnu 2018 (stáří užitých mapových podkladů).

Na základě 995 uvažovaných domů došlo k potvrzení předpokladu, že průměrné technické maximum pokrytí sedlové střechy FV panely je přibližně 30 %. Při zjednodušeném pohledu lze říci, že technický potenciál využití rovných střech jiných budov (zastoupených ve vybrané obci především výrobními halami) je přibližně 50 %.

Technický potenciál instalovatelného výkonu byl na základě užití metodiky stanoven na 21,8 MWp při užití pouze FV panelů a 30,2 MWp při spolupráci FV panelů (umístěných na rovných střechách) a FV tašek (umístěných na sedlových střechách). Při využití FV tašek se výrazně zvýší i odhadovaný dodávaný výkon do sítě (oproti scénáři uvažujícího pouze FV panely). Pouze FV panely by byly schopné ročně dodat 16 095 MWh, při doplnění o FV tašky by došlo k nárůstu na 21 827 MWh. Nárůst instalovaného výkonu i výroby je při scénáři využívajícího FV tašek způsoben zvýšením využitelnosti střešní plochy sedlových střech rodinných domů. Pro lepší představu o velikosti maximálního možného dodávaného výkonu se nabízí srovnání s odhadovanou spotřebou stanovenou poměrově z přilehlé rozvodny napájející danou oblast. Roční spotřeba obce pro rok 2018 byla stanovena na 4 608 MWh. Takto vysoká odhadovaná maximální technicky výroba střešní fotovoltaiky oproti vlastní spotřebě obce je dána několika faktory.

- Výhodná poloha obce v kontextu České republiky
- Rovinný charakter okolní krajiny
- Sídlní charakter obce – množství samostatně stojících rodinných domů
- Výhodná orientace ulic způsobující převahu jižně orientovaných střech
- Rozlehlé průmyslové oblasti na katastrálním území obce
- Vysoká střešní/zastavěná plocha na jednoho obyvatele
- Absence výškových budov stínící svému okolí

Z důvodu výše uvedených faktorů nelze závěr této práce generalizovat na jakoukoli jinou obec. Pro posouzení výhodnosti plošného užití fotovoltaiky na území jiné obce je nutné k dané obci přistupovat individuálně. V této práci není řešena ekonomická návratnost investice plošného využití střešní fotovoltaiky. Zároveň nejsou řešeny dodatečné ztráty střídačů a dalších podpůrných zařízení nutných pro provoz fotovoltaických elektráren. Maximální dodávaný výkon u ekonomicky výhodných orientací tak bude oproti maximálnímu možnému technickému potenciálu výrazně nižší.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] 100 % elektřiny z bezemisních zdrojů? Kalifornie cílí na rok 2045. In: O ENERGETICE [online]. cit. [2018-10-29] <http://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/100-elektriny-bezemisnich-zdroju-kalifornie-cili-rok-2045/>
- [2] AUO BenQ Sun Bravo PM060MW4 - PM060MB4 - PM060MW5. In: COENERGIE GROUP [online]. cit. [2019-5-5] <https://www.coenergia.com/eng/products/photovoltaic/photovoltaic-modules/auo-benq-sunbravo-pm060mw4-pm060mb4-pm060mw5>
- [3] AUO SunBravo PM060MW4/PM060MB4/PM060MW5 Mono-Crystalline photovoltaic module. In: admin-solso.cz [online]. cit. [2019-5-5] http://admin.solso.cz/wp-content/uploads/2018/09/PM060MW4_PM060MB4_EN.pdf
- [4] BenQ Solar AUO SunBravo PM060MW4 325Wp solar panel, monocrystalline. In: mg solar [online]. cit. [2019-5-5] <https://www.mg-solar-shop.com/benq-solar-auo-sunbravo-pm060mw4-325wp-solar-panel-monocrystalline>
- [5] Co ovlivňuje výrobu elektrické energie ze solární elektrárny In: SILEKTRO [online]. cit. [2018-12-30] <https://www.silektro.cz/solarni-elektrarny/o-fotovoltaice/co-ovlinuje-vyrobu-elektricke-energie-ze-solarni-elektrarny>
- [6] Čambala P., Hrubý M., Muselík O., Špaček T., Procházka J.: Oponentní posudek k vybraným tématům z návrhu Národního Klimaticko-Energetického Plánu (NKEP) pro oblast FVE. In: EGÚ Brno a. s. Brno 2018, 36 s.
- [7] ČERNÝ, J. Hodnocení provozu malých fotovoltaických elektráren s připojením do sítě nn. Diplomová práce. Brno: Ústav elektroenergetiky FEKT VUT v Brně, 2010, 58 stran.
- [8] ČSN EN 15316-4-3 Energetická náročnost budov - Výpočtová metoda pro stanovení potřeb energie a účinností soustavy - Část 4-3: Výroba tepla, fotovoltaické a solární tepelné soustavy, Modul M3-8-3, M8-8-3, M11-8-3
- [9] Economic overview of the use and production of photovoltaic solar energy in Brazil. In: SCIENCE DIRECT [online]. cit. [2018-10-20] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032117310389#>
- [10] E.ON Solar. In: e.on a.s. [online]. cit. [2019-5-5] <https://www.eon-solar.cz/>
- [11] Exkluzivně: Proč v Česku dramaticky roste zájem o hybridní a fotovoltaické elektrárny? In: SOLÁRNÍ NOVINKY [online]. cit. [2018-10-30] <http://www.solarninovinky.cz/?zpravy/2018101804/exkluzivne-proc-v-cesku-dramaticky-roste-zajem-o-hybridni-fotovoltaicke-elektrarny>
- [12] Fotovoltaika. In: ISOLAR [online]. cit. [2018-12-26] http://www.isolar.cz/technologie.html#solarni_panel
- [13] Fotovoltaické systémy pro výrobu elektřiny. In: CNE [online]. [cit. 2018-10-14] <http://www.cne.cz/fotovoltaicke-systemy/uvod-do-fv-systemu>
- [14] Google Britům poradí, zda se jim vyplatí instalovat na střechu solární panely. In: O ENERGETICE [online]. cit. [2018-10-29] <http://oenergetice.cz/evropska-unie/google-britum-poradi-zda-se-vyplati-instalovat-strechu-solarni-panely/>

- [15] Google maps. In: Google [online]. cit. [2019-5-10] <https://www.google.cz/maps/>
- [16] HASELHUHN, Ralf. *Fotovoltaika: budovy jako zdroj proudu*. Ostrava: HEL, 2011. ISBN 978-80-86167-33-6.
- [17] Here's Our Guide to Google's Project Sunroof. In: SOLARPOWER ROCKS [online]. cit. [2018-10-29] <https://www.solarpowerrocks.com/affordable-solar/heres-guide-googles-project-sunroof/>
http://andyschroder.com/static/images/OptimalTilt/Sensitivity/724210_small.jpg
- [18] Jak umístit na dům solární panely. In: SOLARNIEXPERTI [online]. [cit. 2018-10-14] <https://www.solarniexperti.cz/jak-umistit-na-dum-solarni-panely>
- [19] Jakubes J., Járka V.: Studie „Potenciál solární energetiky v České republice“. In: ENACO. Praha 2015, 58 s.
- [20] KATTAUER, Jakub. *Návrh fotovoltaické elektrárny na střeše rodinného domu*. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2014, 50 l. : il. + 1 CD-ROM.
- [21] Letos se může v Česku instalovat až 50 MW nových solárních a bateriových elektráren. In: Solární novinky [online] cit. [2019-5-16] <http://www.solarninovinky.cz/?zpravy/2019040101/kein-april-letos-se-muze-v-cesku-instalovat-az-50-mw-novych-solarnich-a-bateriovych-elektraren>
- [22] Mapové podklady Moravany u Brna In: Mapy.cz [online]. cit. [2019-5-5] [mapy.cz](https://www.mapy.cz)
- [23] Moravany (okres Brno venkov). In: wikipedia.org [online]. cit. [2019-5-5] [https://cs.wikipedia.org/wiki/Moravany_\(okres_Brno-venkov\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/Moravany_(okres_Brno-venkov))
- [24] MONO VS POLY. In: REDARC [online]. [cit. 2018-10-14] <https://www.redarc.com.au/mono-vs-poly>
- [25] NĚMEČEK, Ondřej. *Teplotní charakteristiky fotovoltaických panelů*. Západočeská univerzita v Plzni. Fakulta elektrotechnická, 2017, 100 l.
- [26] Optimální orientace a sklon fotovoltaických panelů. In: OZE.TZB [online]. [cit. 2018-10-14] <https://oze.tzb-info.cz/114865-optimalni-orientace-a-sklon-fotovoltaickych-panelu>
- [27] Photovoltaic geographical information system. In: PVGIS [online]. cit. [2019-5-10] http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html?fbclid=IwAR2NzPAI99KulPclQh0FI3RVztBaTwIJ_DOUTbOu_N4Z8gndbZlYZyIpVSA#PVP
- [28] Photovoltaic panel sensitivity In: Andyschroder [online]. cit. [2019-5-10]
- [29] Praktika z fotovoltaiky. In: IS MUNI [online]. cit. [2018-11-25] https://is.muni.cz/el/1441/jaro2012/FY2BP_EkO/um/praktika_z_fotovoltaiky.pdf
- [30] Proč nemáme rádi obnovitelné zdroje energie? In: IDNES [online]. cit. [2018-11-25] <https://milansmrz.blog.idnes.cz/blog.aspx?c=686928>
- [31] Project Sunroof calculates rooftop solar potential using Google Maps. In: NEW ATLAS [online]. cit. [2018-12-30] <https://newatlas.com/project-sunroof-google-maps/38965/>
- [32] Project Sunroof. In: Google [online] cit. [2019-4-5] <https://www.google.com/get/sunroof>

-
- [33] Servis pro fotovoltaické elektrárny – služba PREměření, a. s. In: TZB INFO [online]. cit. [2018-12-27] <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/8577-servis-pro-fotovoltaicke-elektrarny-sluzba-premereni-a-s>
- [34] Shout it from the rooftop: Elon Musk goes solar in a big way. In: ESTIMATE [online]. [cit. 2018-10-20] <https://www.solar-estimate.org/news/2018-04-21-shout-it-from-the-roof-top-elon-musk-goes-solar-in-a-big-way>
- [35] Sluneční záření jako zdroj energie. In: TRANSFORMACNI TECHNOLOGIE [online]. cit. [2018-11-25] <http://www.transformacni-technologie.cz/02.html>
- [36] Solar resource maps of World. In: SOLARGIS [online]. [cit. 2018-10-14] <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/world>
- [37] Solar power by country. In: WIKIPEDIA [online]. cit. [2018-10-29] https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_power_by_country
- [38] Solar resource maps of World. In: SOLARGIS [online]. [cit. 2018-10-14] <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/czech-republic>
- [39] Solární amorfní panel Sharp NA-135L5 135 Wp. In: ECO PRODUKT [online]. cit. [2018-12-26] <https://www.ecoproduct.cz/solarni.panely/solarni.panely/amorfni.solarni.panely/solarni.amorfni.panel.sharp.na.e135l5.135wp>
- [40] Solar panel cleaning. In: DIRECT WCS [online]. cit. [2018-12-27] <http://directwcs.com/solar-panel-cleaning/>
- [41] Solar solutions. In: Solsol s.r.o. [online]. cit. [2019-5-5] <http://www.solsol.cz>
- [42] Soleccosolar roof tiles. In: Soleccosolar [online]. cit. [2019-5-5] <http://www.soleccosolar.com/custom-build-renovation/>
- [43] Stát rozdává lukrativní dotace na fotovoltaiku. In: SOLÁRNÍ EXPERTI [online]. cit. [2018-10-29] <https://www.solarniexperti.cz/dotace-zelena-usporam-na-fotovoltaicke-elektrarny/>
- [44] Stručná historie fotovoltaiky. In: TZB INFO [online]. cit. [2018-11-25] <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/11652-strucna-historie-fotovoltaiiky>
- [45] Studie: Britské solární elektrárny vyrábí kvůli degradaci až o čtvrtinu méně elektřiny. In: O ENERGETICE [online]. cit. [2018-12-26] <http://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/studie-britske-solarni-elektrarny-vyrabi-kvuli-degradaci-az-ctvrtinu-mene-elektriny/>
- [46] Sunlight. In: WIKIPEDIA [online]. cit. [2018-12-26] https://en.wikipedia.org/wiki/Sunlight#cite_note-12
- [47] SVATOŠ, L. Využití FV systému pro zásobení rodinného domu elektřinou. Bakalářská práce. Plzeň: ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI Fakulta elektrotechnická, 2014, 76 stran.
- [48] ŠÁCHA, Tomáš. *Grafický popis elektroenergetického systému ve vybraných oblastech* [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/119162>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky. Vedoucí práce Martin Paar.

- Upravil VLČEK, Josef. *Automatické vyhodnocování spektra slunečního záření. Vysoké učení technické v Brně*. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2015, 52 l.
- [49] Veřejná databáze ČSÚ – Moravany u Brna. In: Český statistický úřad [online]. cit. [2018-03-28] https://vdb.czso.cz/vdbvo2/faces/cs/index.jsf?page=profil-uzemi&uzemiprofil=31588&u=__VUZEMI__43__583413&fbclid=IwAR1pKs7-eeHbBmi2e2UMPIbWE9CmI3TVv_BZy18zihG5hoHEHBne_6bLLR4#w=
- [50] Veřejné mapy ikatastr. In: ikatastr [online]. cit. [2019-5-10] <http://ikatrastr.cz>
- [51] Vysoce účinné fotovoltaické systémy s trackery a koncentrátory záření. In: TZB INFO [online]. cit. [2018-11-25] <https://www.tzb-info.cz/3542-vysoce-ucinne-fotovoltaicke-systemy-s-trackery-a-koncentratory-zareni>
- [52] Zájem o střešní fotovoltaiky v Česku roste, firmy hlásí velký nárůst počtu instalací. In: O ENERGETICE [online]. cit. [2018-10-29] <http://oenergetice.cz/elektrina/zajem-o-stresni-fotovoltaiky-v-cesku-roste-firmy-hlasi-velky-narust-poctu-instalaci/>
- [53] Zjednodušený bilanční výpočet ročních přínosů fotovoltaických instalací. In: OZE TZB INFO [online]. cit. [2019-1-2] <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/13878-zjednoduseny-bilancni-vypocet-rocnich-prinosu-fotovoltaickych-instalaci>